PHILIPS



CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS-4

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976
Vijfde druk 1979

161210.4

PHILIPS



CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS-4

Philips Nederland B.V.- Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

Tweede, herziene druk 1976
Vijfde druk 1979

161210.4

INHOUDSOPGAVE

b

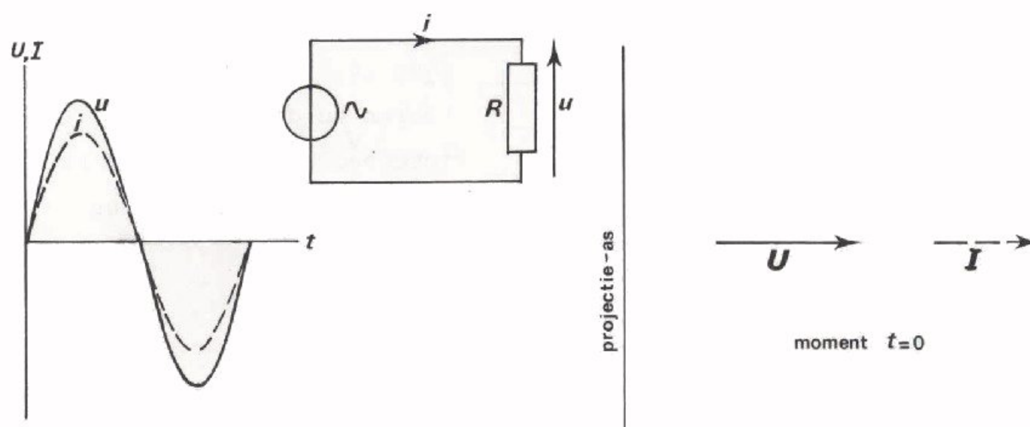
A 34 DE FASE

WISSELSTROOM EN SPANNING BIJ EEN WEERSTAND

Sluiten we op een weerstand R een *sinusvormige* spanning aan, dan gaat er door die weerstand een stroom lopen. Deze stroom is eveneens *sinusvormig*, want op ieder moment geldt de wet van Ohm:

$$i = \frac{u}{R}$$

Wordt u b.v. tweemaal zo groot, dan zal ook i tweemaal zo groot worden:
is $u = 0$, dan is ook $i = 0$;
is u maximaal, dan is ook i maximaal.

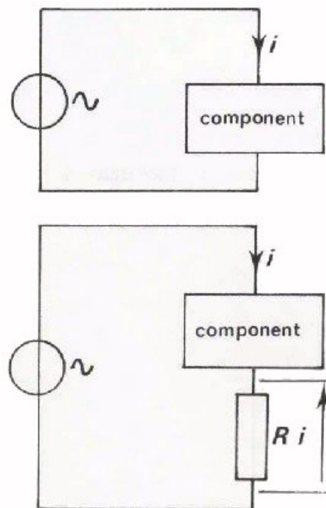


Hierboven zijn de grafische voorstelling van de sinusvormige spanning en die van de sinusvormige stroom in één figuur getekend. We zien, dat u en i op hetzelfde moment nul zijn. Op dezelfde ogenblikken zijn u en i maximaal positief, maximaal negatief, enz. In de vectorvoorstelling rechts wijzen $\boldsymbol{U}$ en $\boldsymbol{I}$ in dezelfde richting.

Een sinusvormige wisselspanning veroorzaakt in een weerstand een sinusvormige wisselstroom. Deze wisselspanning en wisselstroom gedragen zich van moment tot moment hetzelfde. Men drukt dit uit met een vakterm en zegt, dat de stroom en de spanning *in fase zijn.*

HET ZICHTBAAR MAKEN VAN EEN STROOM OP EEN OSCILLOSCOOP

In het voorafgaande hebben we reeds herhaaldelijk de grafische voorstelling van een wisselspanning op een oscilloscoop zichtbaar gemaakt. Is het nu ook mogelijk een stroom zichtbaar te maken? Niet zonder meer, want met een oscilloscoop kan men alleen maar spanningen laten zien. Toch is er wel wat op te vinden.



Stel dat we de stroom door een component zichtbaar willen maken.
We maken gebruik van het feit dat een wisselstroom door een weerstand precies zo verloopt als de wisselspanning over die weerstand.
Schakelen we een kleine weerstand R in serie met de component, dan zal de stroom i over die weerstand een spanning $u = R.i$ doen ontstaan. Deze spanning $R.i$ verloopt net zo als de stroom waar het ons om te doen is.
Voeren we deze spanning toe aan een oscilloscoop, dan zien we op het scherm een grafiek van $R.i$ die precies zo verloopt als die van i.

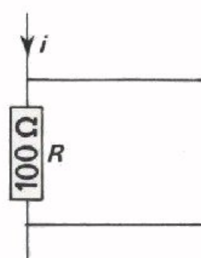
De weerstand R moet klein zijn ten opzichte van de weerstand van de component. De stroom door de component mag door het in serie schakelen van R n.l. niet merkbaar beïnvloed worden.

Voor een dergelijke meting kiest men bij voorkeur een weerstand met een "mooie" waarde, b.v. 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω.
Met de wet van Ohm kan men dan snel de waarde van de stroom berekenen.
Voorbeeld:

10 mV over een weerstand van 1 Ω betekent een stroom van

$$i = \frac{u}{R} = \frac{10.10^{-3}}{1} \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

OEFENING

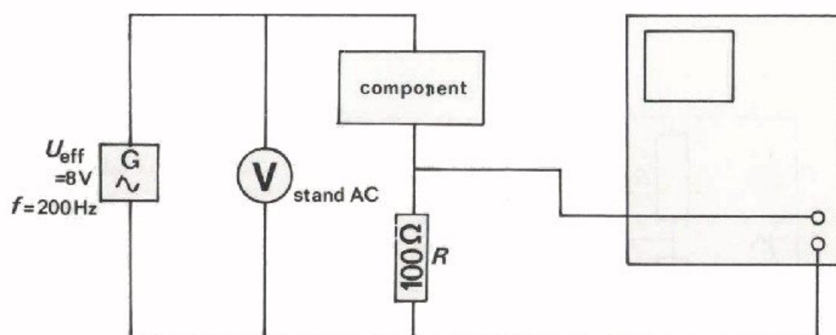


U voert de spanning over een weerstand R = 100 Ω toe aan een oscilloscoop. Op het scherm ziet u een sinus verschijnen met een amplitude van 4 divisions. De stand van de schakelaar "Y-ampl" is 2 mV/div.

Hoe groot is de amplitude van de wisselstroom door de weerstand?

I_t =

OPDRACHT: METEN VAN EEN STROOM MET EEN OSCILLOSCOOP



- Bouw bovenstaande schakeling op uw oefenpaneel en sluit de universeelmeter, de LF-generator en de oscilloscoop aan. Voer U_{eff} = 8 V bij 200 Hz toe.
- Maak de spanning over R = 100 Ω zichtbaar op het scherm.
- Bepaal de grootte van I_t

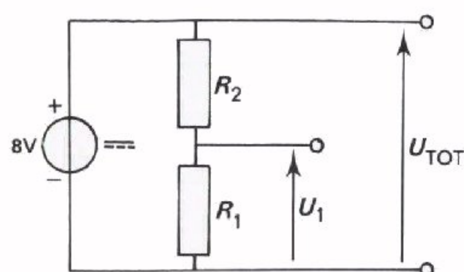
  I_t =

- Bereken de grootte van I_{eff}

  I_{eff} =

- Schakel nu de universeelmeter als stroommeter (stand AC) in serie met de component en controleer of de berekende waarde van I_{eff} klopt.

IN FASE EN IN TEGENFASE ZIJN

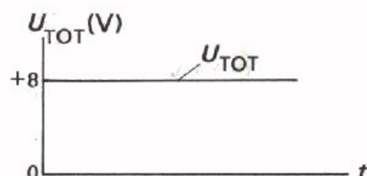


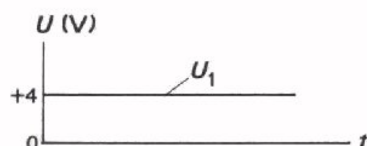
We weten dat bij gelijkspanning de deelspanning U_1, zowel als de totale spanning U_{TOT} beide positief zijn. Ook weten we dat deze spanningen zich verhouden als de weerstanden waarover zij staan:

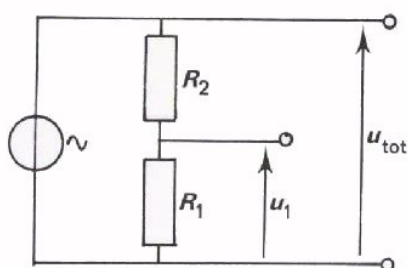
$$\frac{U_{TOT}}{U_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} .$$

Zijn R_1 en R_2 even groot en is U_{TOT} = 8 V, dan is U_1 = 4 V.

In nevenstaande grafische voorstellingen is dit alles weergegeven.





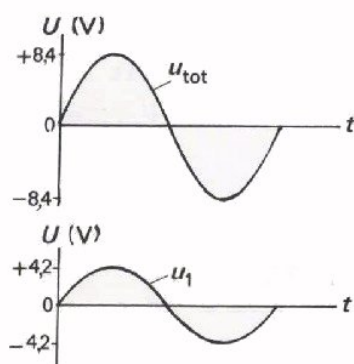


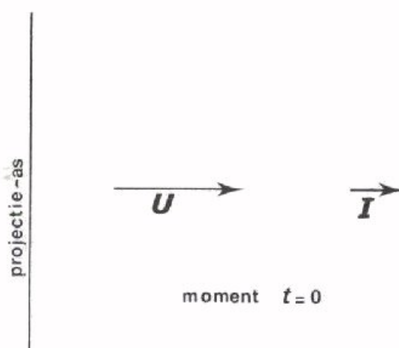
Sluiten we een sinusvormige wisselspanning aan op dezelfde spanningsdeler, dan is de deelspanning u_1 *in fase met* de totale spanning u_{tot}. Verder verhouden zich u_{tot} en u_1 als de weerstanden waarover zij staan:

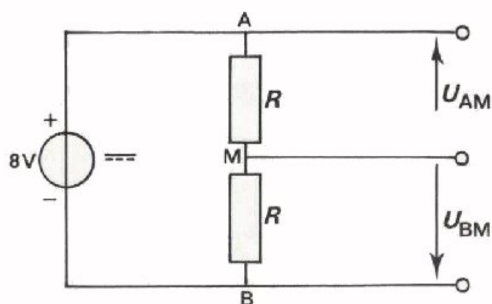
$$\frac{u_{tot}}{u_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

Is $U_{(tot)t}$ = 8,4 V, dan is U_{1_t} = 4,2 V.

In nevenstaande grafieken is dit weergegeven. Hieronder staat de vectorvoorstelling van deze spanningen.

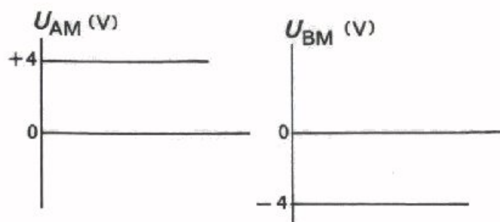




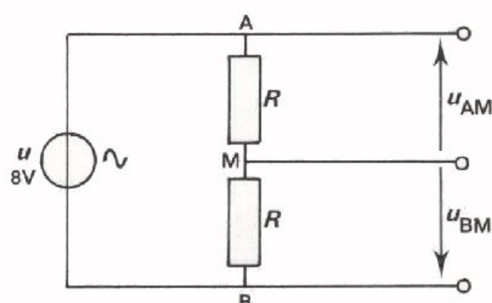


In deze schakeling is A positief t.o.v. M,en B negatief t.o.v. M. Dit betekent dan U_{AM} positief is en U_{BM} negatief.
Zijn R_1 en R_2 weer even groot en is de totale spanning 8 V, dan is:

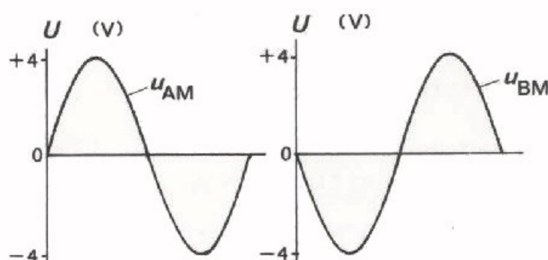
$$U_{AM} = +4 \text{ V}$$
en $U_{BM} = -4$ V.



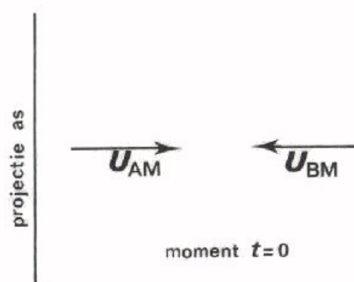
In nevenstaande grafische voorstellingen is dit weergegeven.



Sluiten we op dezelfde spanningsdeler een sinusvormige wisselspanning aan, dan zal op die momenten dat u_{AM} positief is, u_{BM} negatief zijn en omgekeerd. In nevenstaande grafische voorstellingen is dit te zien. We zeggen, dat u_{AM} en u_{BM} *in tegenfase zijn.*



Dit begrip *tegenfase* wordt nog duidelijker aan de hand van de vectorvoorstelling. De bijbehorende vectoren zijn immers precies tegengesteld.

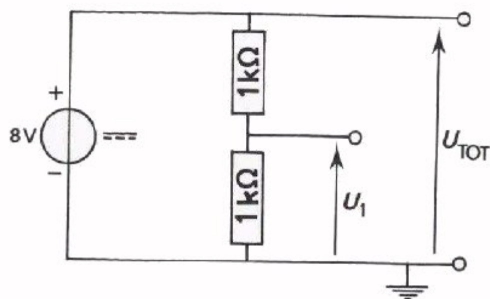


Verder verhouden zich u_{AM} en u_{BM} weer als de weerstanden waarover zij staan. Bij deze spanningsdeler:

$$U_{AMt} = 4 \text{ V}$$
en $U_{BMt} = 4$ V.

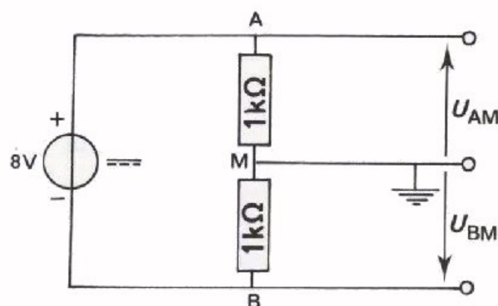
In volgende opdracht gaan we met behulp van een oscilloscoop na of bovenstaande beweringen kloppen.

OPDRACHT: METINGEN AAN EEN SPANNINGSDELER MET BEHULP VAN EEN OSCILLOSCOOP



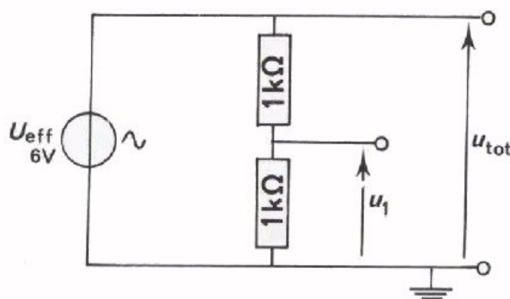
- Bouw deze schakeling op het paneel.
- Voer de spanning U_{TOT} toe aan de oscilloscoop en maak deze zichtbaar op het scherm (stand: 2 V/div).
- Voer U_1 toe aan de oscilloscoop.

Merk op, dat U_{TOT} en U_1 dezelfde polariteit hebben.



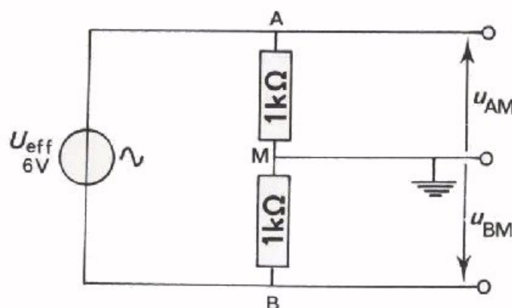
- Voer nu U_{AM} toe aan de oscilloscoop (stand: 1 V/div).
- Voer U_{BM} toe.

Merk op, dat U_{AM} en U_{BM} een tegengesteld teken hebben.



- Vervang de gelijkspanningsbron nu door een wisselspanningsbron; gebruik hiervoor de soldeertrafo tussen 0 en 6 V en stel de totale spanning in op U_{eff} = 6 V (stand: 2 V/div).
  Zorg voor externe triggering van de oscilloscoop met behulp van de totale spanning u_{tot}.
- Voer u_{tot} en u_1 achtereenvolgens aan de oscilloscoop toe.

Merk op, dat u_{tot} en u_1 in fase zijn.

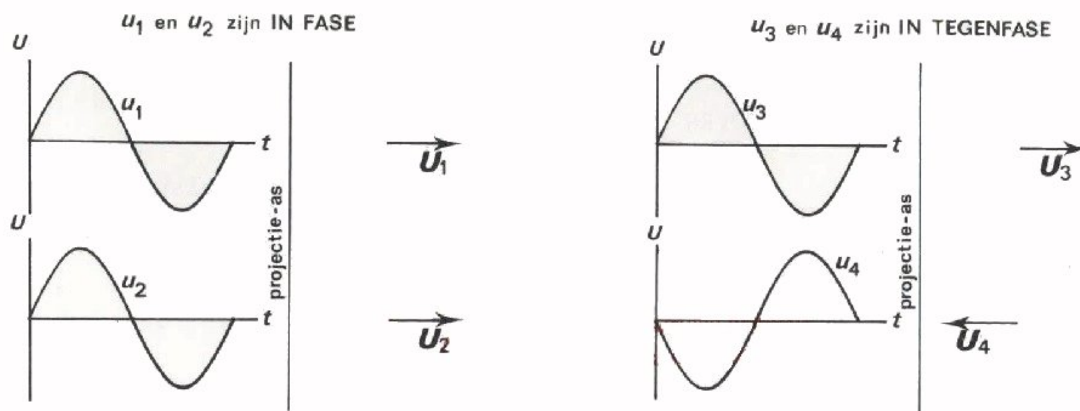


- Voer u_{AM} toe aan de oscilloscoop (stand: 1 V/div). Externe triggering met u_{AM}.
- Voer U_{BM} toe. Externe triggering met U_{AM}.

Merk op, dat u_{AM} en u_{BM} in tegenfase zijn.

IN FASE VERSCHOVEN ZIJN

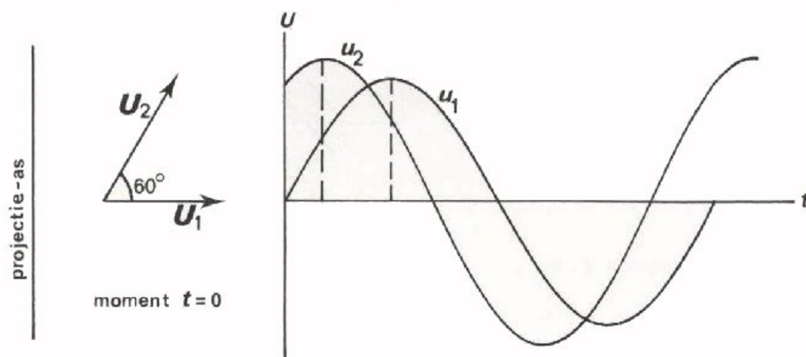
Tot nu toe hebben we het gehad over "spanningen in fase" en "spanningen in tegenfase" We vatten dit nog even grafisch samen.



Let nog even goed op de vectorvoorstellingen.

- Zijn de spanningen in fase, dan wijzen de vectoren dezelfde kant op. Zij maken een hoek van 0^0 met elkaar.
- Zijn de spanningen in tegenfase, dan wijzen de vectoren in tegengestelde richtingen. Zij maken een hoek van 180^0 met elkaar.

Het komt vaak voor dat twee spanningen niet in fase en ook niet in tegenfase zijn, maar dat hun vectoren een andere hoek dan 0^0 of 180^0 met elkaar maken. In volgend voorbeeld is deze hoek gelijk aan 60^0.

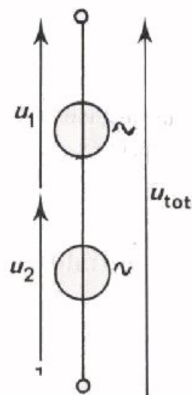


Men noemt deze hoek *de hoek van faseverschuiving*. Hij wordt aangeduid met de Griekse letter φ, spreek uit: "fie".

In de grafische voorstelling van u_1 en u_2 zien we dat de momentele waarde van u_2 eerder zijn maximale waarde bereikt dan die van u_1. We zeggen in dit geval: "u_2 is 60^0 *in fase verschoven* t.o.v. u_1", of nog precieser: "u_2 *ijlt* 60^0 *voor* op u_1".

In het geval van *tegenfase* is de hoek tussen twee vectoren $\varphi = 180^0$.
Als de spanningen *in fase* zijn is de hoek tussen de vectoren $\varphi = 0^0$.

DE SOM VAN IN FASE VERSCHOVEN SPANNINGEN

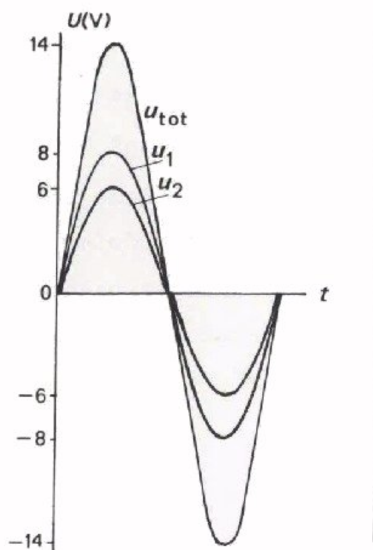


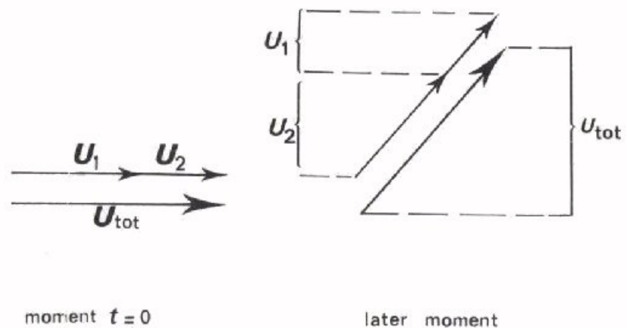
Schakelen we twee wisselspanningen u_1 en u_2 in serie, dan krijgen we een spanning u_{tot}, die de som is van u_1 en u_2.
Zijn U_{1_t} en U_{2_t} gegeven, dan is $U_{(tot)t}$ echter nog niet bekend!
De twee spanningen kunnen toevallig *in fase* zijn en dus gelijktijdig nul en maximaal zijn.
Ze kunnen ook *in tegenfase* zijn; als de ene spanning maximaal positief is, dan is de ander maximaal negatief.
Vaak zullen ze echter een andere hoek dan 180^0 *in fase verschoven* zijn.

Aan de hand van enige voorbeelden zullen we deze gevallen bekijken. We veronderstellen steeds, dat $U_{1_t} = 8$ V en $U_{2_t} = 6$ V.

VOORBEELD 1

u_1 en u_2 zijn in fase; fasehoek $\varphi = 0^0$.





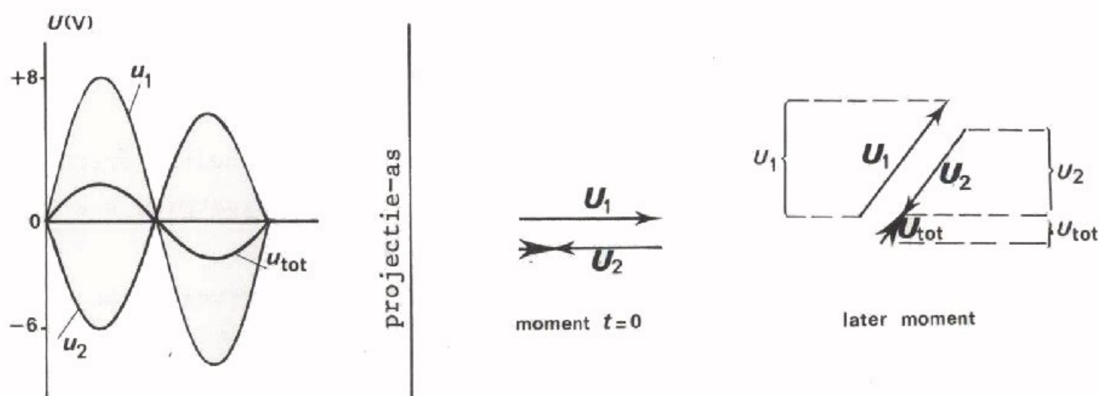
In de grafische voorstelling moeten we voor elk moment de momentele waarden van u_1 en u_2 optellen. We verkrijgen dan een nieuwe sinuslijn, waarvoor geldt:

$$U_{(tot)t} = U_{1_t} + U_{2_t}.$$

Hetzelfde bereiken we in de vectorvoorstelling door de vectoren achter elkaar aan te tekenen . We verkrijgen dan $\boldsymbol{U}_{tot}$ door een vector te tekenen tussen het achtereinde van $\boldsymbol{U}_1$ en het vooreinde van $\boldsymbol{U}_2$. Om de tekening duidelijk te houden hebben we de vector $\boldsymbol{U}_{tot}$ niet over $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ heen getekend, maar iets evenwijdig verschoven.

VOORBEELD 2

u_1 en u_2 zijn in tegenfase; fasehoek $\varphi = 180^0$.

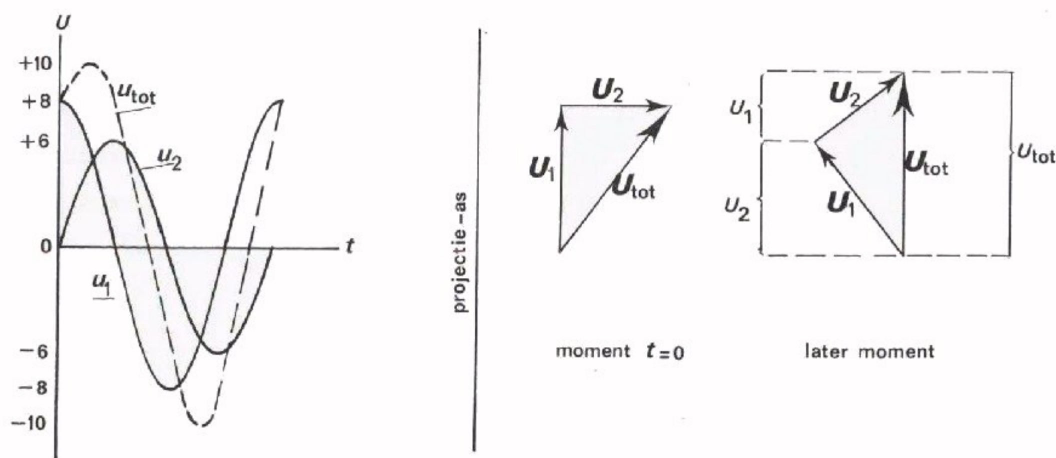


Ook nu moeten we in de grafische voorstelling de momentele waarden van u_1 en u_2 optellen. Daarbij is echter u_1 positief als u_2 negatief is en omgekeerd, zodat we eigenlijk aftrekken. Voor u_{tot} krijgen we weer een sinuslijn; daarvoor geldt nu: $U_{(tot)t} = U_{1_t} - U_{2_t} = 8 - 6 = 2$ V.

Hetzelfde is in de vectorvoorstelling weer te bereiken door $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ "achter elkaar aan te tekenen"; het vooreinde van $\boldsymbol{U}_1$ aan het achtereinde van $\boldsymbol{U}_2$. We verkrijgen $\boldsymbol{U}_{tot}$ weer door het achtereinde van $\boldsymbol{U}_1$ te verbinden met het vooreinde van $\boldsymbol{U}_2$. Om een duidelijke tekeningen te houden laten we de vectoren niet over elkaar vallen, maar tekenen we ze iets evenwijdig verschoven.

VOORBEELD 3

u_1 ijlt 90^0 voor op u_2.



In de grafische voorstelling zijn u_1 en u_2 weer op elk moment opgeteld. Op deze manier ontstaat de streeplijn die u_{tot} voorstelt. Ook nu blijkt u_{tot} sinusvormig te verlopen.

Algemeen geldt:

> Als men twee sinusvormige spanningen met dezelfde frequentie optelt, dan is de totale spanning ook sinusvormig, hoe groot de hoek van faseverschuiving ook is.

In de vectorvoorstelling wordt de vector $\boldsymbol{U}_{tot}$ weer verkregen door de vectoren van $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ "achter elkaar aan te tekenen". Dan vallen voor elke stand van de vectoren de projecties u_1 en u_2 op de projectieas ook achter elkaar, en ziet men direct dat de projectie U_{tot} van de vector $\boldsymbol{U}_{tot}$ gelijk is aan $u_1 + u_2$

In dit speciale voorbeeld, waarin u_1 90^0 voorijlt op u_2, vormen de vectoren van $\boldsymbol{U}_1$, $\boldsymbol{U}_2$ en $\boldsymbol{U}_{tot}$ een rechthoekige driehoek met als zijden U_{1_t}, U_{2_t} en $U_{(tot)t}$.

Met behulp van de stelling van Pythagoras vinden we nu:

$$U^2_{(tot)t} = U^2_{1t} + U^2_{2t} = 8^2 + 6^2 = 64 + 36 = 100$$

$$U_{(tot)t} = \sqrt{100} = 10 \text{ V}.$$

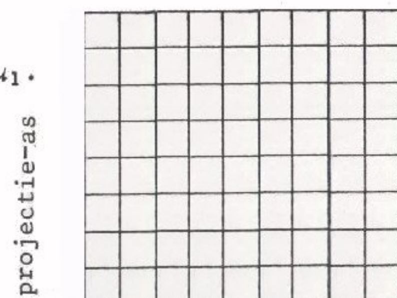
We hebben gezien dat in het algemeen *niet* geldt dat u_{tot} gelijk is aan de som van u_1 en u_2 (dit is alleen zo als u_1 en u_2 in fase zijn). Wel kunnen we zeggen dat u_{tot} gelijk is aan de *vectorsom* van $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$.

$$\boldsymbol{U}_{tot} = \boldsymbol{U}_1 + \boldsymbol{U}_2.$$

OEFENING

Twee sinusvormige wisselspanningen u_1 en u_2 hebben een frequentie van 250 Hz; $\hat{u}_1$ = 10 V en $\hat{u}_2$ = 20 V.

De spanning u_2 ijlt 45^0 voor op de spanning u_1.



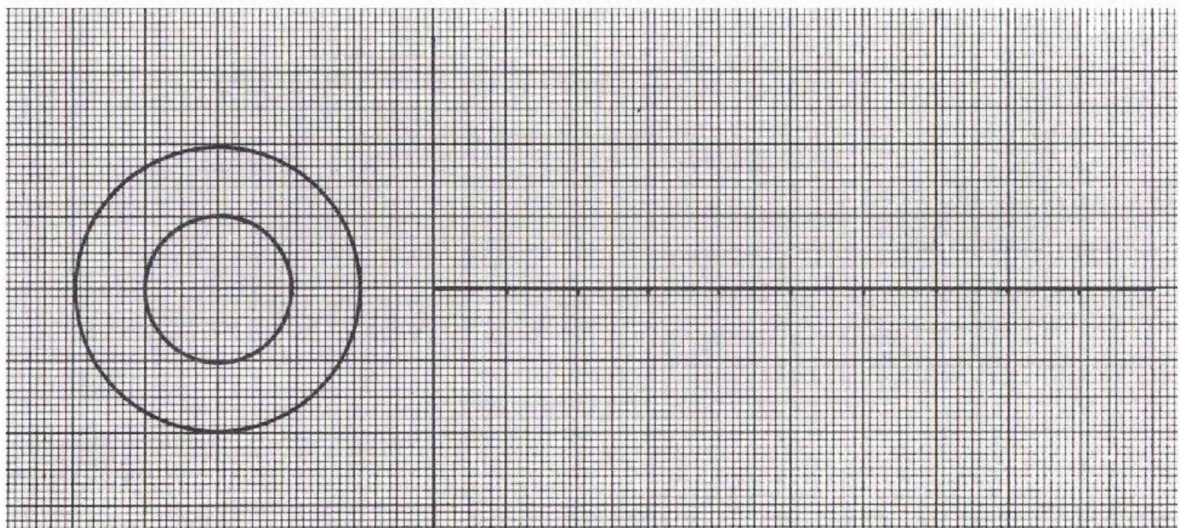
1. Teken hiernaast $\boldsymbol{U}_1$, $\boldsymbol{U}_2$ en $\boldsymbol{U}_{tot}$.

   Kies voor de lengte van $\boldsymbol{U}_1$ 2 cm.

2. Bepaal door opmeting van de lengte van de vector $\boldsymbol{U}_{tot}$ hoe groot U_{tot-t} is.

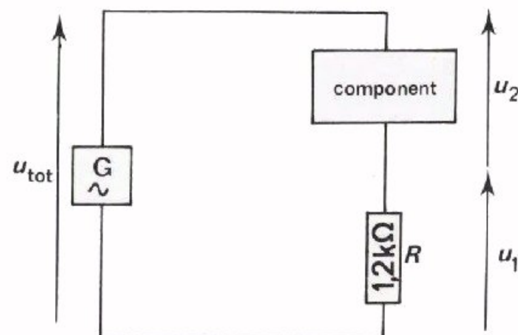
   U_{tot-t} = [V]

3. Schets op onderstaand millimeterpapier twee perioden van u_1 en u_2. Maak daarbij gebruik van de gegeven constructiecirkels.



4. Teken daarna in de grafiek ook twee perioden van u_{tot}.

OPDRACHT: METEN VAN IN FASE VERSCHOVEN SPANNINGEN



- Bouw bovenstaande schakeling op het oefenpaneel.
- Voer een wisselspanning toe van 7,5 V_{eff} - 1 kHz. Meet deze spanning met een universeelmeter.
- Meet nu de spanningen $U_{1(eff)}$ en $U_{2(eff)}$ met de universeelmeter.

$U_{1(eff)}$ = [V]

$U_{2(eff)}$ = [V]

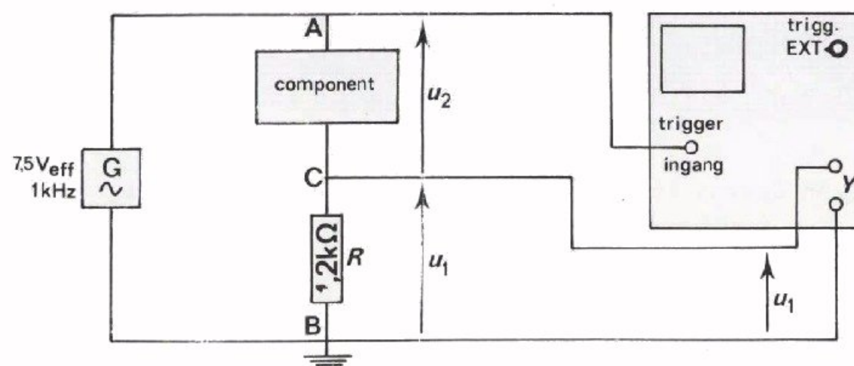
- Merk op, dat voor deze schakeling *niet* geldt:

$$U_{tot(eff)} = U_{1(eff)} + U_{2(eff)},$$

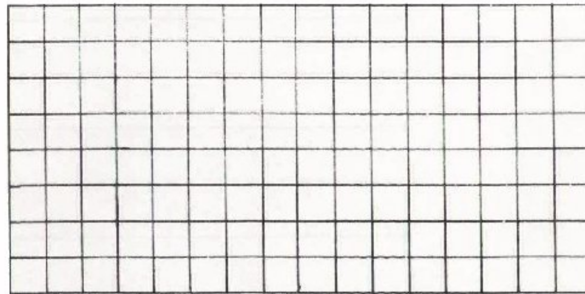
en dus ook niet:

$$U_{(tot)t} = U_{1t} = U_{2t}!\ !$$

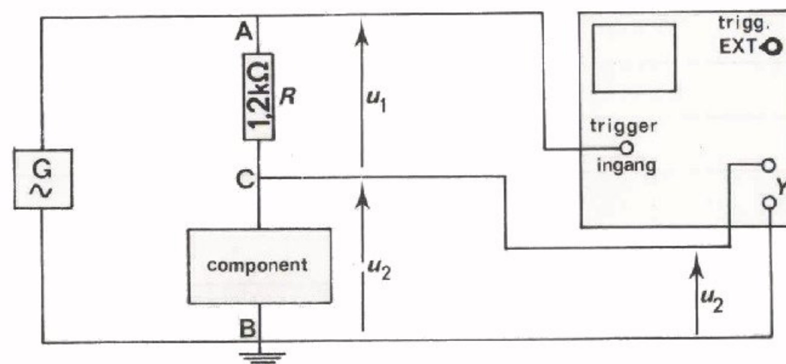
Blijkbaar zijn u_1 en u_2 in fase verschoven.



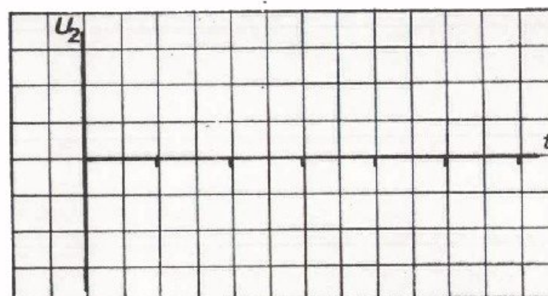
- Sluit de oscilloscoop aan op de schakeling zoals hierboven is geschetst en maak twee perioden van u_1 zichtbaar.
- Schets de grafiek van u_1 zoals die op het scherm te zien is.



De uitgang van de generator en de ingang van de oscilloscoop zijn beide aan één zijde geaard. We kunnen de Y-ingang van de oscilloscoop dus niet tussen de punten A en C aansluiten om u_2 te meten.
We verwisselen nu de component en de weerstand. Dit kan zonder bezwaar gebeuren; de stroom door de serieschakeling verandert daardoor immers niet.
In onderstaande schakeling staat tussen C en B de spanning u_2.

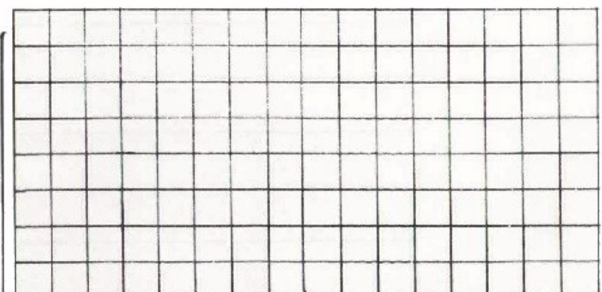


- Schets de grafiek van u_2 zoals die op het scherm te zien is.

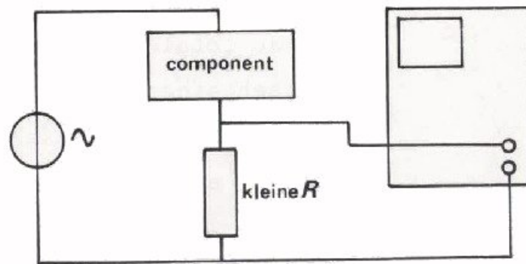


- Uit de grafieken van u_1 en u_2 volgt dat u_2 [graden] [na/voor-] ijlt op u_1.

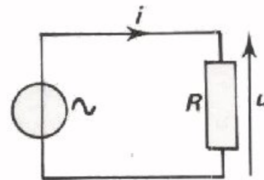
- Teken nu de vectoren van u_1, u_2 en u_{tot}.
U ziet dat inderdaad *niet* geldt $U_{(tot)t} = U_{1_t} + U_{2_t}$, omdat u_1 en u_2 in fase verschoven zijn.

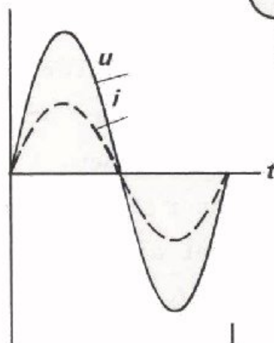


SAMENVATTING



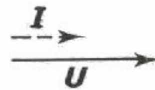
De grafiek van de wissel*stroom* door een component kan men op het scherm van een oscilloscoop zichtbaar maken door een *kleine* weerstand R met de component in serie te schakelen. De spanning $u = R.i$ over deze R voert men dan aan de oscilloscoop toe, waardoor de grafiek van $R.i$ op het scherm komt; deze komt overeen met die van de stroom i.



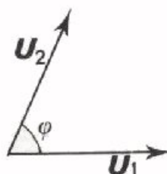


Bij een weerstand zijn wisselspanning en wisselstroom met elkaar *in fase.*

Dit betekent dat u en i tegelijkertijd nul, positief maximaal en negatief maximaal zijn.



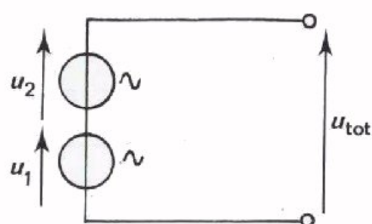
Het betekent ook dat de vectoren van u en i dezelfde richting hebben.



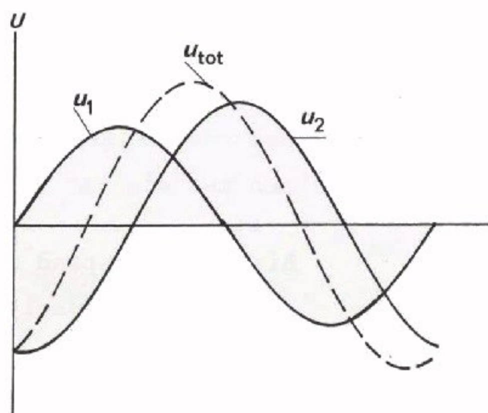
Als de wisselspanningen u_1 en u_2 *in fase verschoven* zijn, betekent dit dat de vectoren niet dezelfde richting hebben, maar een *hoek van faseverschuiving* met elkaar maken.
In het voorbeeld *ijlt* u_2 *voor op* u_1. Men kan ook zeggen dat u_1 *naijlt op* u_2.



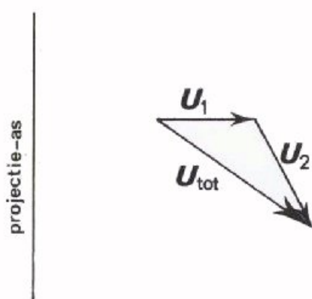
Als de vectoren precies tegen elkaar in zijn gericht, dan is $\varphi = 180^0$ en zegt men dat u_1 en u_2 *in tegenfase* zijn.



Als men twee wisselspanningen met dezelfde frequentie optelt, is de totale spanning u_{tot} niet alleen afhankelijk van u_1 en u_2, maar ook van de fasehoek φ tussen u_1 en u_2.



Men kan u_1 en u_2 optellen door de momentele waarden op elk moment op te tellen in een grafiek. Deze manier is echter erg omslachtig. Een snellere methode is het samenstellen van de twee vectoren.



Men kan de vectoren $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ optellen door ze "achter elkaar aan" te tekenen.
De vector $\boldsymbol{U}_{tot}$ vindt men dan door het achtereinde van de vector $\boldsymbol{U}_1$ te verbinden met het vooreinde van $\boldsymbol{U}_2$.

In het algemeen kan men stellen:

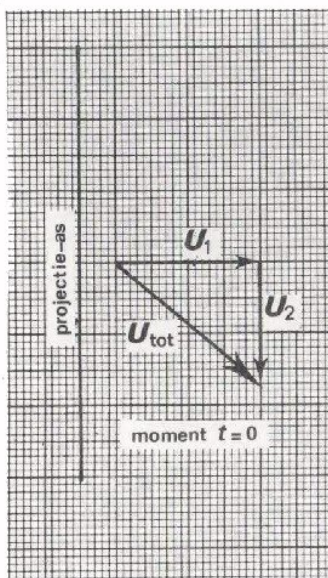
u_{tot} is niet gelijk aan de *som* van u_1 en u_2,
maar u_{tot} is gelijk aan de *vectorsom* van u_1 en u_2.

Dus: niet geldt $u_{tot} = u_1 + u_2$,
maar wel $\boldsymbol{U}_{tot} = \boldsymbol{U}_1 + \boldsymbol{U}_2$.

NAAM: ______ KLAS: ______

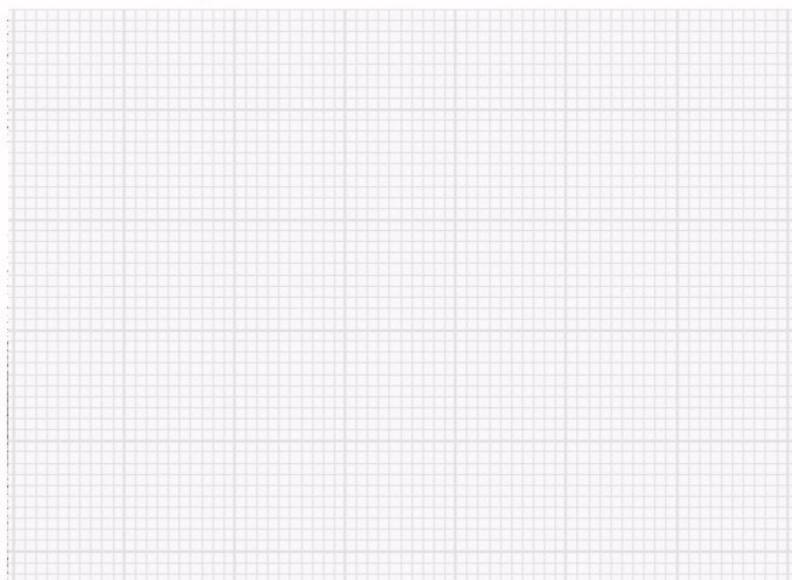
OEFENINGEN

1.



Teken in deze grafiek het verloop van de momentele waarde van u_{tot}.

2. Teken op schaal de vectoren $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ "achter elkaar aan", als gegeven is:



U_{1_t} = 100 V,
U_{2_t} = 75 V,
u_2 ijlt 120^0 voor op u_1.

Stel de vectoren $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ samen tot $\boldsymbol{U}_{tot}$:

$$\boldsymbol{U}_{tot} = \boldsymbol{U}_1 + \boldsymbol{U}_2$$

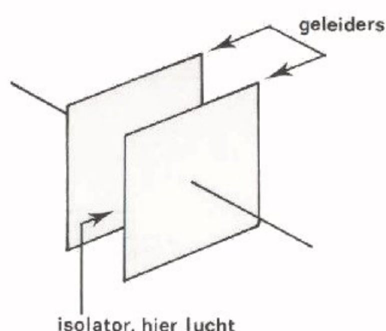
Meet in de figuur op hoe groot $U_{(tot)t}$ is.

$U_{(tot)t}$ = ______ V

A 35 DE CONDENSATOR

WAT IS EEN CONDENSATOR?

Een van de componenten die in de elektronica herhaaldelijk voorkomt is de condensator.



In zijn meest eenvoudige vorm kunnen we een condensator voorstellen als twee geleiders, gescheiden door een isolator.

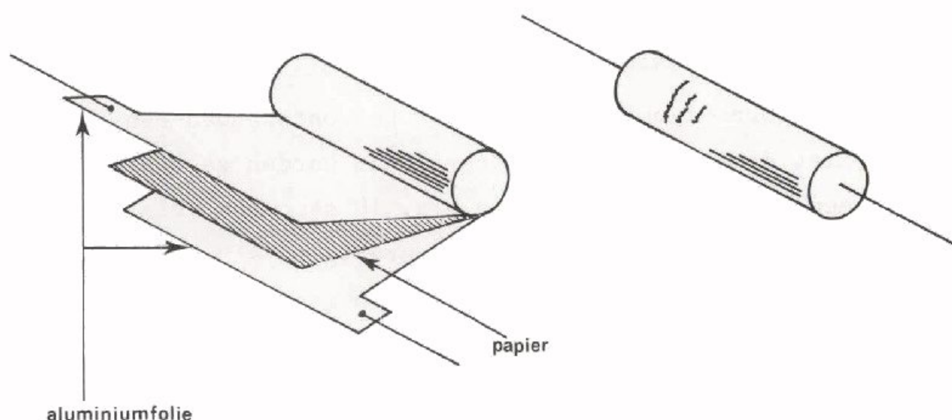
De beide geleiders noemt men de *platen* en de isolatiestof tussen de platen heet *diëlektricum*.

Veel gebruikte diëlektrica zijn: lucht, papier, glas, polystyreen, mica en keramiek.

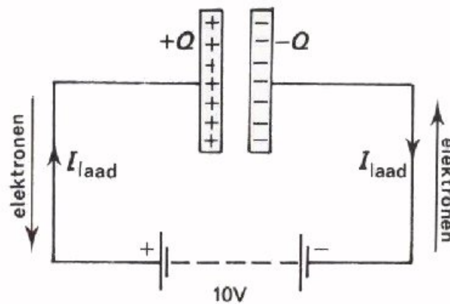
Het *symbool* voor een condensator is:



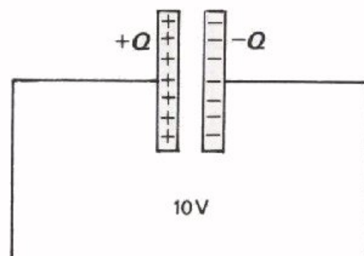
Condensatoren komen in talloze uitvoeringsvormen voor. Om ruimte te sparen rolt men b.v. dikwijls twee geleiders samen met het diëlektricum op.



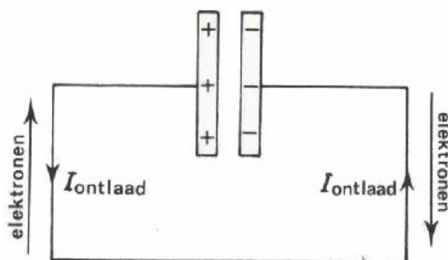
LADEN EN ONTLADEN VAN EEN CONDENSATOR



Als we een condensator aansluiten op een gelijkspanning, dan worden van de ene plaat elektronen "weggezogen" en aan de andere plaat worden evenveel elektronen toegevoerd.
De eerste plaat wordt positief geladen en de andere even sterk negatief. Dit laden geschiedt zeer snel; er loopt even een stroom in de toevoerleidingen van de condensator.
De spanning over de condensator is nu gelijk aan die van de batterij.



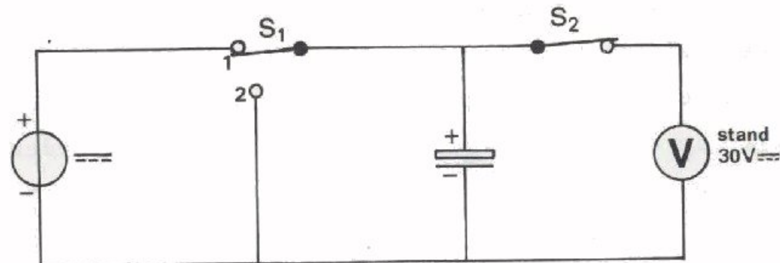
Verbreken we de verbinding van condensator en batterij, dan blijft de lading op de platen. De spanning over de condensator blijft gelijk aan de spanning waarmee de condensator werd geladen.



Sluiten we tenslotte de geladen condensator kort, dan gaat er een z.g. ontlaadstroom lopen. In zeer korte tijd vereffent zich het ladingsverschil tussen de platen.
De ontlaadstroom is natuurlijk tegengesteld aan de laadstroom. Na ontlading is de spanning over de condensator nul geworden.

Een condensator kan volgens het bovenstaande dienst doen om lading op te slaan. Hiervan maakt men b.v. gebruik bij het ontsteken van fotoflitslampjes. Deze lampjes hebben voor het ontbranden een grote stroom nodig die niet door een kleine batterij kan worden geleverd. Men voert daarom uit een batterij langzaam, in b.v. 10 seconden, via een weerstand een lading toe aan een condensator. Vervolgens sluit men het flitslampje aan op de geladen condensator, die dan in zeer korte tijd, b.v. $\frac{1}{100}$ seconde, de lading door het lampje stuurt.
Men laadt dus de condensator langzaam vanuit het batterijtje en ontlaadt hem daarna plotseling via het flitslampje. Denk ter vergelijking eens aan de stortbak van een W.C. Deze wordt langzaam met water "geladen" en loopt na doortrekken snel leeg.

OPDRACHT: LADEN EN ONTLADEN VAN EEN CONDENSATOR



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel. Gebruik als condensator een component waarop vermeld staat: "100 µF". Op deze component staat ook een + teken. Sluit deze kant van de condensator aan op de + zijde van de spanningsbron.
- Stel de gelijkspanningsbron in op 30 V.
- Zet de schakelaar S_1 in stand 1 en sluit S_2. De voltmeter wijst nu 30 V aan. Over de condensatorplaten staat nu blijkbaar 30 V.
- Open eerst schakelaar S_2 en daarna S_1. De condensator is nu niet meer met de spanningsbron verbonden en ook niet meer met de voltmeter.
- De condensator blijft zijn lading behouden. Dit kunnen we constateren door na b.v. ½ minuut S_2 weer te sluiten. De voltmeter wijst nu nog steeds (nagenoeg) 30 V aan.
- Houd S_2 gesloten en let op de voltmeter. U ziet deze langzaam zakken. De voltmeter heeft een grote inwendige weerstand, n.l. 30 x 40 000 Ω = 1,2 MΩ. Over deze weerstand ontlaadt de condensator zich langzaam; er kan immers geen grote ontlaadstroom lopen.
- Sluit, als de voltmeter tot ongeveer 15 V gedaald is, de condensator even kort door S_1 in stand 2 te zetten. De aanwijzing van de voltmeter daalt nu onmiddellijk naar nul. De condensator is geheel ontladen.

DE CAPACITEIT

De lading die een condensator krijgt is afhankelijk van de spanning. Naarmate de laadspanning groter is, is ook de lading groter. Bovendien is de lading die een condensator krijgt afhankelijk van zijn *capaciteit*.
Om in te zien wat we bij een condensator met capaciteit bedoelen,treffen we een vergelijking met de gashouder. Als men een gashouder met gas vult, dan is de hoeveelheid gas die erin stroomt - de lading - evenredig met de druk - de spanning - waarmee men het gas in de houder perst. Bij een 2 x zo grote druk gaat er ook 2 x zoveel gas in, bij een 10 x zo grote druk ook 10 x zoveel. Maar bovendien hangt de hoeveelheid gas,die bij een bepaalde laaddruk in de gashouder komt,af van zijn afmetingen. De inhoud van de gashouder noemen we zijn capaciteit. Is de inhoud 2 x zo groot, dan kan er ook 2 x zoveel gas in, enz.
De lading is dus groter naarmate de druk en naarmate de capaciteit groter is.

Het verband tussen lading, laadspanning en capaciteit is zeer eenvoudig:

lading = capaciteit x spanning,

of in formule:

$$Q = C \cdot U$$

Q = lading
C = capaciteit
U = spanning

Hieruit volgt direct:

$$\boxed{\frac{Q}{U} = C}$$

Men kan bij een condensator dus zeggen, dat tussen de lading en de spanning een constante verhouding bestaat. Deze verhouding noemt men de capaciteit van de condensator.

DE EENHEID VAN CAPACITEIT

Voor de constante verhouding tussen spanning en stroom bij een weerstand heeft men als eenheid 1 Ω gekozen. Voor de constante verhouding tussen lading en spanning bij een condensator is de eenheid "farad" gekozen. De *eenheid* van *capaciteit* is de "farad", afgekort met de hoofdletter F.

> De capaciteit van een condensator is 1 F als bij een lading van 1 C op elk van de platen de spanning tussen de platen 1 V bedraagt.

De farad blijkt een onpraktisch grote eenheid te zijn. Condensatoren met een zo grote capaciteit komt u nooit tegen. Daarom gebruikt men als eenheden gewoonlijk:

1 microfarad, 1 μF = 10^{-6} F
1 nanofarad, 1 nF = 10^{-9} F
1 picofarad, 1 pF = 10^{-12} F.

De in de elektronica toegepaste condensatoren hebben capaciteiten liggend tussen enige pF en ongeveer 1000 μF.

OEFENING

Reken om:

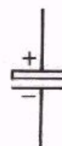
1. 100 pF = [ ] nF
2. 0,5 μF = [ ] nF
3. 25 nF = [ ] μF
4. 1.10^4 pF = [ ] μF
5. Men komt op condensatoren wel eens de aanduiding μμF tegen. Wat, denkt u, is 1 μμF?

   1 μμF = [ ]

ENKELE PRAKTISCHE OPMERKINGEN

- De druk op een gashouder mag men niet onbeperkt opvoeren. Bij een bepaalde druk zal hij uit elkaar barsten. Evenzo kan een condensator slechts een beperkte spanning hebben. Bij een grotere spanning springt er een vonk over tussen de platen, waardoor een gaatje in het diëlektricum ontstaat. Dit verschijnsel noemt men *doorslag*. Op de meeste condensatoren staat de *doorslagspanning* vermeld. Zet men op een condensator een spanning groter dan de doorslagspanning, dan is er een grote kans dat hij defect raakt.

- De meeste condensatoren mag men willekeurig monteren. Het doet er niet toe welke plaat + en welke - wordt. Er zijn echter ook condensatoren waarbij de ene plaat altijd positief moet zijn t.o.v. de andere. Dit zijn de z.g. elektrolytische condensatoren of *elco's*.
Sluit men een elco verkeerd om aan, dan raakt hij defect,
in sommige gevallen kan hij zelfs exploderen.
De schema-aanduiding voor deze condensatoren is zo:



In de opdracht van blad A35.3 heeft u reeds van zo'n *elco* gebruik gemaakt, waarbij u de + en - zijde goed moest aansluiten.

WAAR HANGT DE CAPACITEIT VANAF?

We hebben gezien, dat de hoeveelheid gas,die men in een gashouder kan persen ook afhangt van zijn capaciteit, d.w.z. van zijn afmetingen. Ook de capaciteit van een condensator hangt af van zijn afmetingen en wel op de volgende manier.

- De capaciteit is evenredig met het *plaatoppervlak*. Maakt men het oppervlak van de platen 3 x zo groot, dan wordt ook de capaciteit 3 x zo groot. Maakt men het oppervlak 10 x zo klein, dan wordt ook de capaciteit 10 x zo klein.
- De capaciteit wordt groter als men de *afstand van de platen* kleiner maakt. Vergroot men de afstand tussen de platen 5 x, dan wordt de capaciteit 5 x zo klein. Brengt men de platen 2 x zo dicht bij elkaar, dan wordt de capaciteit 2 x zo groot.

Tenslotte hangt de capaciteit van een condensator ook nog af van het soort diëlektricum. Dit drukt men uit in de z.g. *diëlektrische constante* van het isolatiemateriaal tussen de platen. Diëlektrische constante geeft men aan met de kleine griekse letter ε, spreek uit: "ep-si-lon".
Voor lucht $\varepsilon \approx 9.10^{-12}$ (As/Vm). Voor mica b.v. is ε 5 x zo groot. Voor een groot aantal diëlektrica kan men de diëlektrische constante vinden in tabellen.

Het bovenstaande kan men beknopt samenvatten in een formule:

$$\boxed{C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}}$$

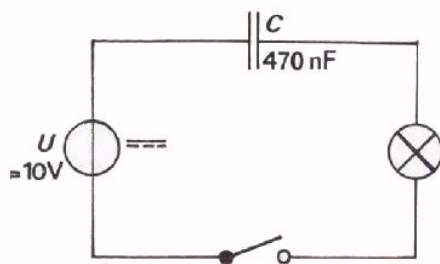
C: capaciteit (F)
A: oppervlak van één plaat (m^2)
d: afstand van de platen (m)
ε: diëlektrische constante ($\frac{As}{Vm}$)

VOORBEELD

Een condensator bestaat uit twee platen met een oppervlak van 0,1 m^2. De afstand tussen de platen is 0,5 mm. Het diëlektricum is lucht. De capaciteit van de condensator is:

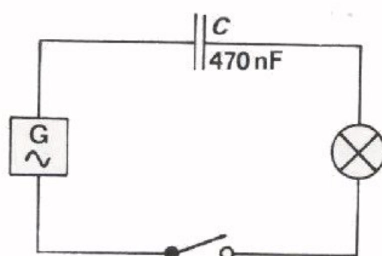
$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} = 9.10^{-12} \cdot \frac{0,1}{5.10^{-4}} = 1,8.10^{-9} \text{ F} = 1,8 \text{ nF}.$$

OPDRACHT: STROOM DOOR EEN CONDENSATOR.



- Bouw deze schakeling.
- Stel de gelijkspanningsbron in op ongeveer 10 V.
- Sluit de schakelaar en kijk wat het lampje doet.
- Herhaal de proef met spanningen van 20 V en 30 V.

In geen van de gevallen brandt het lampje. *Door een condensator kan geen gelijkstroom lopen.* Dit is overigens vanzelfsprekend. Een condensator bestaat immers uit twee geleiders gescheiden door een isolator.

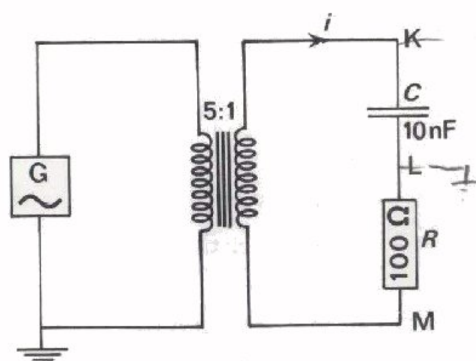


- Bouw nu deze schakeling.
- Stel de wisselspanningsbron in op ongeveer 10 V en een frequentie van 1000 Hz.
- Sluit de schakelaar en kijk wat het lampje doet.

Nu brandt het lampje wel. Dit komt omdat er voortdurend een laad- en ontlaadstroom in de toevoerleidingen blijft lopen. Door de wisselspanning wordt de *C* geladen, ontladen, andersom geladen, ontladen, enz.
Door een condensator kan ook geen wisselstroom lopen! Een wisselspanning laat echter wel voortdurend wisselstroom in de toevoerleidingen lopen, zodat er schijnbaar een wisselstroom door de condensator gaat.

In het spraakgebruik zegt men daarom toch vaak, dat er "door" een condensator een wisselstroom loopt.

OPDRACHT: SPANNING EN STROOM BIJ EEN CONDENSATOR



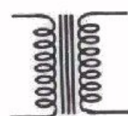
- Bouw deze schakeling en voer een *sinusvormige* wisselspanning toe van 10 V - 2000 Hz.
- Voer u_{KL} aan een oscilloscoop toe en maak ongeveer twee perioden van deze wisselspanning zichtbaar (aardzijde oscilloscoop aan L).
- Voer u_{LM} = R.i toe aan de oscilloscoop en maak weer ongeveer twee perioden van de wisselspanning zichtbaar. (aardzijde oscilloscoop aan M).

Op de oscilloscoop hebben we nu achtereenvolgens een beeld gezien van de spanning over de condensator en de stroom door de condensator. Zowel de spanning als de stroom blijken sinusvormig te verlopen.

CONCLUSIE:

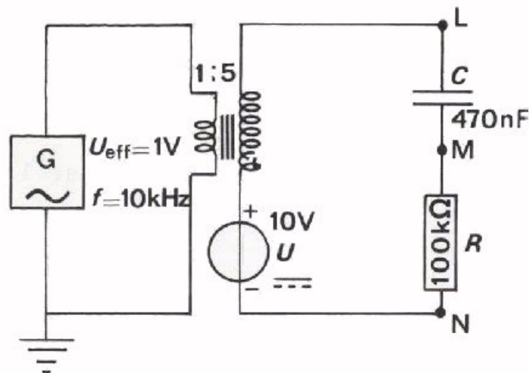
Een *sinusvormige spanning* over een condensator doet in de toevoerdraden van die condensator een eveneens *sinusvormige stroom* lopen.

OPMERKING:

De component  is een transformator die dient om de aardleiding van het linkse deel van de schakeling te scheiden van het rechtse deel van de schakeling; het aardpunt van het rechtse deel van de schakeling kan dan willekeurig gekozen worden.

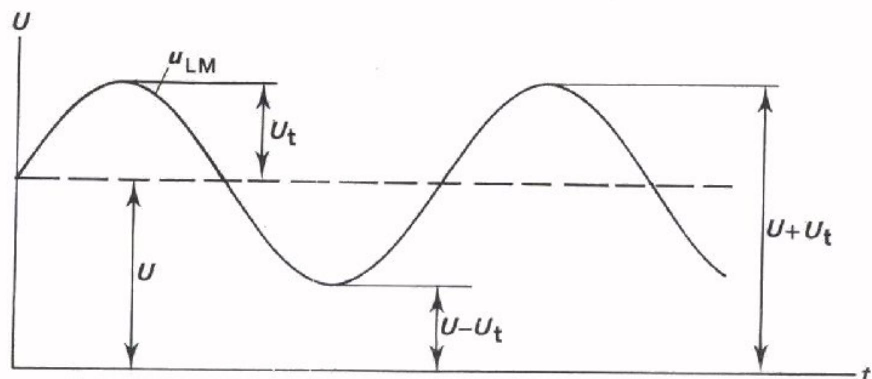
Op de werking en constructie van de transformator wordt in boek AS6 uitgebreid ingegaan.

OPDRACHT: GELIJK- EN WISSELSPANNING OP EEN CONDENSATOR



- Bouw deze schakeling.
- Stel de spanningen U_{eff} en U in met behulp van een universeelmeter.
- Sluit de oscilloscoop (stand DC) aan tussen de punten L en N.
  Maak van de totale spanning 5 perioden zichtbaar op het scherm.

De totale spanning is een pulserende gelijkspanning,die bestaat uit de zuivere gelijkspanning U en de zuivere wisselspanning u. Door deze aan te sluiten op de serieschakeling van C en R gebeurt het volgende. De gelijkspanning laadt in korte tijd de C en blijft daarna in zijn geheel over C staan. De wisselspanning zorgt er voor dat de condensator dán weer geladen wordt tot $U + U_t$, dán weer ontladen wordt tot $U - U_t$. Volgende grafiek laat dit zien.



- Sluit de oscilloscoop nu aan tussen M en N.
  U ziet dat over de weerstand R alleen de wisselspanning staat.

- Sluit nu de oscilloscoop aan tussen de punten L en M (aardzijde oscilloscoop aan punt M).
  Het aardpunt van de generator is door de transformator gescheiden van het aardpunt van de oscilloscoop.

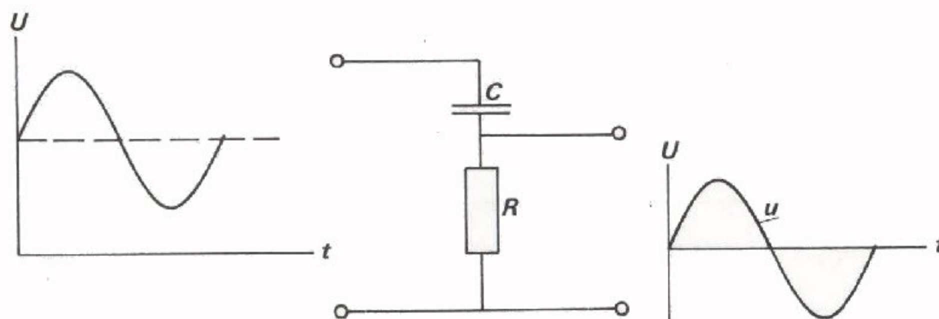
- Sluit de oscilloscoop aan tussen M en N.
  U ziet dat over de condensator C vrijwel uitsluitend de gelijkspanning staat.

CONCLUSIE: Een serieschakeling van *C* en *R* kan een gelijk- en een wisselspanning scheiden. Over de *C* komt de gelijkspanning te staan en over de *R* de wisselspanning.

Dit principe wordt in de elektronica veel toegepast. We laten hierna een tweetal voorbeelden volgen.

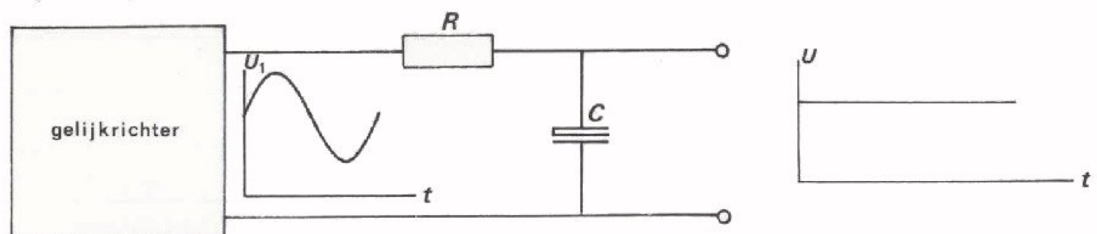
TOEPASSINGEN VAN EEN CONDENSATOR

- Het verwijderen van de gelijkspanningscomponent van een pulserende gelijkspanning.



In versterkers b.v. komt het vaak voor dat men een pulserende gelijkspanning heeft, waarvan alleen de wisselspanningscomponent moet worden doorgegeven. Met behulp van een serieschakeling van een condensator en een weerstand is dit eenvoudig te bereiken.
U heeft dit in de vorige opdracht zelf ervaren.

- Het verwijderen van de z.g. rimpelspanning van een pulserende gelijkspanning.

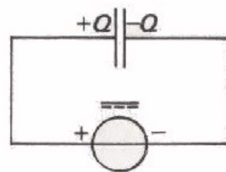


Een gelijkrichter zet een wisselspanning om in een pulserende gelijkspanning. In vele gevallen wil men echter over een zuivere gelijkspanning beschikken.
De pulserende gelijkspanning kan men nu met behulp van een serieschakeling van een weerstand en een condensator in een vrijwel zuivere gelijkspanning omzetten. Voorwaarde is dat de capaciteit van de condensator groot genoeg is.
De wisselspanningscomponent van de pulserende gelijkspanning, die we hier "rimpelspanning" noemen, komt over *R* en de gewenste zuivere gelijkspanning komt over *C* te staan.
Ook dit hebben we in de vorige opdracht gezien.

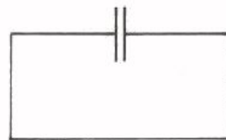
SAMENVATTING

- Een condensator is een samenstel van twee geleiders - de *platen* - gescheiden door een isolator - het *diëlektricum* - .

- Het schemateken voor een condensator is: —||— of —|[]— (elco).



Sluit men een gelijkspanningsbron aan op een condensator, dan wordt hij *geladen*. Dit wil zeggen dat zijn platen even grote, tegengestelde ladingen $+Q$ en $-Q$ krijgen.
De spanning over de condensator wordt gelijk aan de spanning van de bron.



Verbindt men de platen van de geladen condensator, dan wordt hij *ontladen*. De ladingen $+Q$ en $-Q$ verdwijnen. De spanning op de condensator wordt gelijk aan nul.

- Tussen de lading Q en de spanning U van een condensator bestaat een constante verhouding. Deze verhouding heet *capaciteit* C.

$$C = \frac{Q}{U}$$

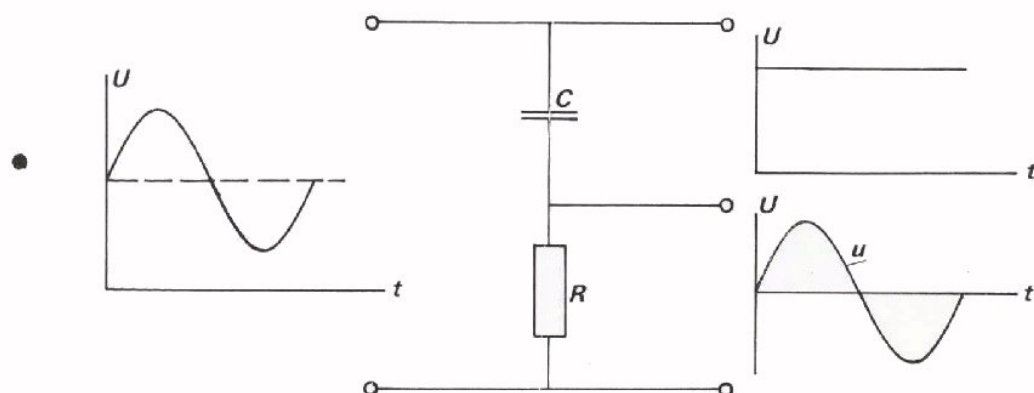
- De *eenheid* van *capaciteit* is de "farad", aangeduid met de hoofdletter F.
  De capaciteit van een condensator is 1 F, als bij een lading van 1 C op elk van de platen de spanning tussen de platen 1 V bedraagt.
  In de praktijk gebruikt men:

  1 µF = 10^{-6} F
  1 nF = 10^{-9} F
  1 pF = 10^{-12} F.

- De spanning over een condensator mag de z.g. *doorslagspanning* niet te boven gaan; anders raakt hij defect.

- Een elektrolytische condensator - ELCO - heeft een polariteit.
  Men kan hem verkeerd aansluiten en dan raakt hij defect, hij kan zelfs exploderen. Men mag een elco dan ook niet aansluiten op een wisselspanning.

- Door een condensator loopt *geen gelijkstroom*. Bij aansluiten van een condensator op een wisselspanning loopt er ook geen wisselstroom door de condensator zelf, maar er loopt *wel wisselstroom in de toe- en afvoerdraden*. In het spraakgebruik zegt men meestal toch: "Er loopt wisselstroom door een condensator".



Door een pulserende gelijkspanning toe te voeren aan een serieschakeling van *C* en *R* kan men de wissel- en de gelijkspanningscomponent scheiden. Zie hierboven.
Dit vindt toepassing in versterkers om een zuivere wisselspanning te verkrijgen uit een pulserende gelijkspanning. Ook in gelijkrichters voor het verwijderen van de rimpelspanning uit een pulserende gelijkspanning.

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN

1. Een condensator met een capaciteit C = 10 nF heeft een lading Q = 1 µC.
   De spanning op deze condensator:

   U = [ ] V

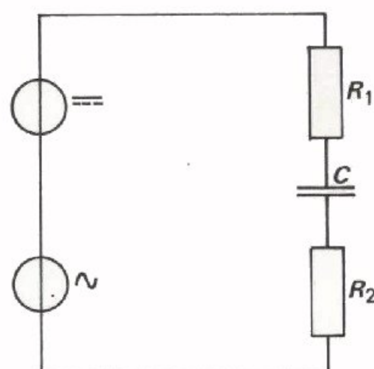
2. Op een condensator met een capaciteit C = 120 pF staat een spanning van 1000 V. De lading op deze condensator:

   Q = [ ]

3. Bij een spanning van 300 V bedraagt de lading Q van een condensator 15 mC.
   De capaciteit is dan:

   C = [ ]

4.



Over R_1 staat:

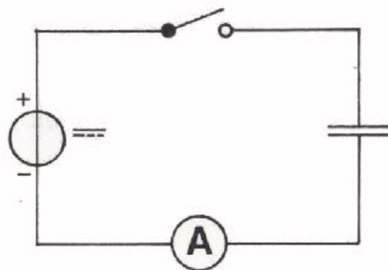
- gelijkspanning O
- wisselspanning O
- gelijk- en wisselspanning O
- geen spanning O

Over R_2 staat:

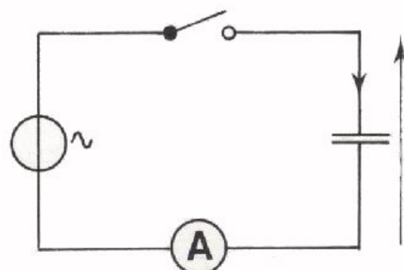
- gelijkspanning O
- wisselspanning O
- gelijk- en wisselspanning O
- geen spanning O

A 36 DE CONDENSATOR OP WISSELSPANNING

DE REACTANTIE VAN EEN CONDENSATOR



Sluiten we op een condensator een gelijkspanning aan, dan loopt er even een laadstroom. Daarna wordt de stroom nul. De spanningsbron levert dan wel spanning maar geen stroom. De condensator gedraagt zich als een isolator.



Sluiten we op de condensator een sinusvormige wisselspanning aan, dan gaat er in de toevoerleidingen afwisselend een laad- en een ontlaadstroom lopen. De spanningsbron levert dan een wisselspanning u en een wisselstroom i.

De condensator gedraagt zich nu als een z.g. *wisselstroomweerstand*. De wisselstroomweerstand van een condensator noemt men gewoonlijk *reactantie* en duidt men aan met de hoofdletter X. Deze reactantie X is gelijk aan:

$$\boxed{X = \frac{u}{i}}$$

zoals bij een weerstand $R = \frac{u}{i}$.

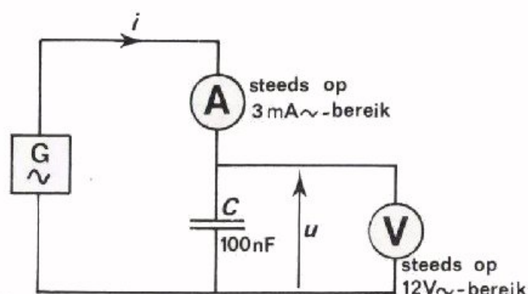
De reactantie wordt gemeten in ohm, Ω. Van deze u en i kan men de amplituden nemen: $X = \frac{U_t}{I_t}$.

Men kan van beide ook de effectieve waarde nemen:

$$X = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

In de volgende opdracht gaan we de reactantie van condensatoren meten.

OPDRACHT: HET METEN VAN DE REACTANTIE



- Bouw deze schakeling op het paneel, maar voer nog geen wisselspanning toe.

- We gaan nu bij verschillende frequenties wisselstromen toevoeren.
  We meten dan telkens de wisselspanning over de condensator en berekenen:

$$X = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

  In de volgende tabel staan de frequenties en de stromen,die we toevoeren vermeld.

- Meet telkens U_{eff} en bereken X.
  Gebruik hiervoor een hoogohmige voltmeter, b.v. elektronisch.

f (kHz)	I_{eff} (mA)	U_{eff} (V)	X (Ω)
0,5	1		
0,5	2		
0,5	3		
1,0	2		
1,5	3		

CONCLUSIES

- De reactantie X is onafhankelijk van de grootte van de wisselstroom of -spanning. Zie de eerste drie metingen.

- De reactantie X:
  - blijft gelijk als de frequentie hetzelfde is,
  - wordt tweemaal zo klein als de frequentie tweemaal zo groot wordt,
  - wordt driemaal zo klein als de frequentie driemaal zo groot wordt.

Hoe hoger de frequentie, des te kleiner de reactantie.

OPDRACHT: HET METEN VAN *X* VAN EEN GROTERE *C*

- Vervang in de schakeling van vorig blad de condensator van 100 nF door een *C* van 270 nF. Zet de voltmeter op het 3 V-bereik.
- Voer nu metingen uit aan de hand van onderstaande tabel. Bereken de reactantie *X*.

f (kHz)	I_{eff} (mA)	U_{eff} (V)	X (Ω)
0,5	1,5		
1	3		

CONCLUSIES

- Ook nu is de reactantie kleiner dan bij hogere frequentie.

  Is f 2 x zo hoog, dan is X 2 x zo klein.

- Bij dezelfde frequentie is de reactantie van de grote condensator kleiner dan die van de kleine.

  Is C 2,7 x zo groot, dan is X 2,7 x zo klein.

Hoe groter de wáárde van de condensator, des te kleiner de reactantie. (bij dezelfde frequentie).

DE REACTANTIE IN FORMULE

In de voorafgaande twee opdrachten hebben we gezien, dat de reactantie van een condensator:

- bij 2x hogere frequentie 2x zo klein is,
- bij 2x zo grote capaciteit 2x zo klein is.

Met behulp van de wiskunde kan men voor de reactantie de volgende formule afleiden:

$$X = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C}$$

X : reactantie, Ω
f : frequentie, Hz
C : capaciteit, F.

In de volgende oefeningen controleren we of onze metingen in overeenstemming zijn met deze formule.

OEFENINGEN

1. Bereken $X = \frac{1}{2\pi f C}$ voor f = 0,5 kHz en C = 100 nF.

   X =

   Klopt dit ongeveer met uw meting?

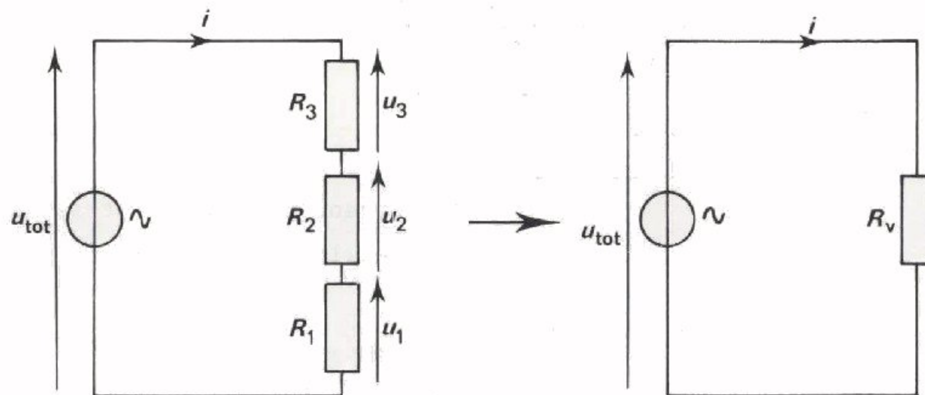
2. Bereken X voor f = 0,5 kHz en C = 270 nF.

   X =

   Klopt dit ook met uw meting?

SERIESCHAKELING VAN CONDENSATOREN

In les A13 is de serieschakeling van weerstanden behandeld.



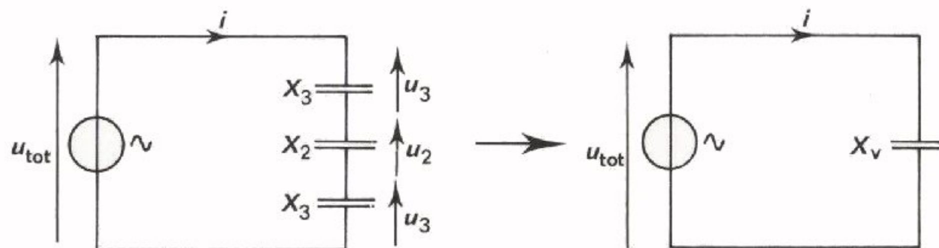
- De vervangingsweerstand van drie in serie geschakelde weerstanden is:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

- De spanningen verhouden zich bij een serieschakeling van weerstanden als de weerstanden waarover zij staan:

$$u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = R_s : R_1 : R_2 : R_3$$

Voor in serie geschakelde condensatoren blijkt voor de reactanties X_1, X_2 en X_3 hetzelfde te gelden.



- De vervangingsreactantie van 3 in serie geschakelde condensatoren is:

$$X_s = X_1 + X_2 + X_3$$

- De spanningen verhouden zich bij een serieschakeling van condensatoren als de reactanties waarover zij staan (en dus *niet* als de C-waarden!).

$$u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = X_s : X_1 : X_2 : X_3$$

Omdat $X = \frac{1}{\omega C}$ kunnen we de voorafgaande formules ook anders schrijven.

$$X_s = X_1 + X_2 + X_3$$

of: $$\frac{1}{\omega C_s} = \frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} + \frac{1}{\omega C_3}$$

of: $$\boxed{\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

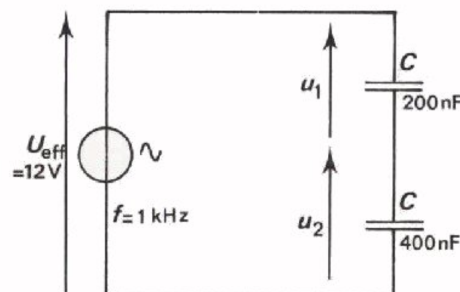
CONCLUSIE: De vervangingscapaciteit is dus altijd kleiner dan de kleinste capaciteit.

Evenzo kan men voor de formule:

$$u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = X_s : X_1 : X_2 : X_3$$

schrijven: $$\boxed{u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = \frac{1}{C_s} : \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}}$$

OEFENING



De effectieve waarde van de spanning over C_1 bedraagt:

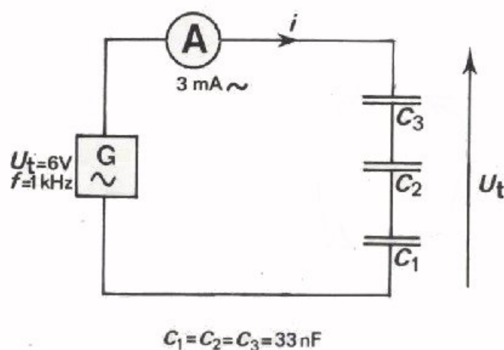
u_1 = [V]

De effectieve waarde van de spanning over C_2 bedraagt:

u_2 = [V]

Merk op dat over de condensator met de *grootste* capaciteit de *kleinste* spanning staat.

OPDRACHT: METEN AAN EEN SERIESCHAKELING VAN C's



$C_1 = C_2 = C_3 = 33$ nF

- Bouw nevenstaande schakeling.
- Schakel de oscilloscoop in en zorg dat in de 0-stand van de "0-AC-DC"-schakelaar een horizontale lijn op het scherm verschijnt die 2 "divisions" onder het midden ligt.
- Maak 5 perioden van de wisselspanning u zichtbaar en zorg ervoor dat U_t = 6 V overeenkomt met 6 "divisions".

- Voer achtereenvolgens aan de oscilloscoop toe de spanning over:

C_1	U_{1_t} =	div
$C_1 + C_2$ samen	$U_{1_t} + U_{2_t}$ =	div
Verwissel C_1 en C_3 van plaats.	U_{3_t} =	div

U ziet dat de spanning zich evenredig over de condensators verdeelt.

- Meet de stroom in de schakeling.

I_{eff} = [ ] mA

dus I_t = [ ] mA

- De reactantie van elke condensator is:

$$X = \frac{1}{2\pi fC} \approx \quad \Omega$$

- De reactantie van de gehele schakeling is:

$$X_s = X_1 + X_2 + X_3 = 3X \approx \quad \Omega$$

- Hieruit volgt dat I_t gelijk moet zijn aan:

$$I_t = \frac{U_t}{X_s} = \qquad A = \quad mA$$

Klopt dit met de gemeten waarde?

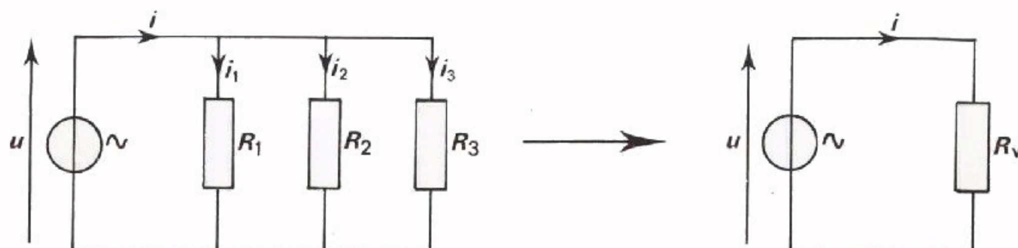
- De condensator C_s die de serieschakeling van de drie gelijke C's kan vervangen moet een driemaal zo grote reactantie hebben. Dan moet C_s zelf driemaal zo klein zijn als $C_1 = C_2 = C_3$.

Dus: C_s = [ ]

- De gevonden waarde C_s ligt in de buurt van 10 nF. Vervang $C_1 + C_2 + C_3$ door een condensator van 10 nF en meet de stroom bij U_t = 6 V. Blijft deze stroom ongeveer even groot? [ ]

PARALLESCHAKELING VAN CONDENSATOREN

We roepen nog even de parallelschakeling van weerstanden in herinnering.



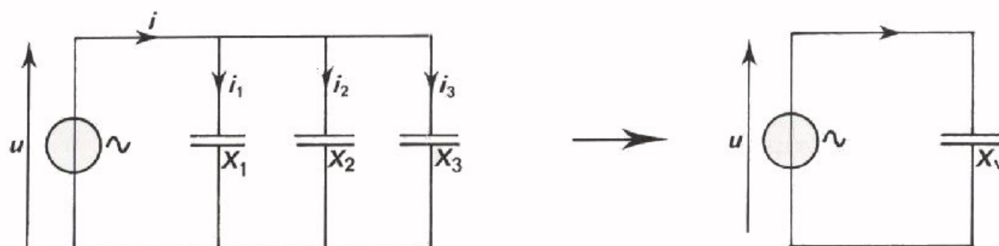
- Voor de vervangingsweerstand van drie parallel geschakelde weerstanden geldt:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

- De stromen verhouden zich bij een parallelschakeling als de *omgekeerde* waarden van de weerstanden waardoor zij lopen:

$$i : i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{R_p} : \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

Bij parallel geschakelde condensatoren blijkt voor de reactanties X_1, X_2 en X_3 hetzelfde te gelden.



- Voor de vervangingsreactantie X_p van drie parallel geschakelde condensators geldt:

$$\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}.$$

- De stromen verhouden zich bij parallel geschakelde reactanties als de *omgekeerde* waarden van de reactanties waardoor zij lopen.

$$i : i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{X_p} : \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} : \frac{1}{X_3}$$

Dit kunnen we veel eenvoudiger schrijven door voor $X = \frac{1}{\omega C}$ in te vullen. De voorafgaande formules worden dan:

$$\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}$$

of: $$\frac{1}{1/\omega C_p} = \frac{1}{1/\omega C_1} + \frac{1}{1/\omega C_2} + \frac{1}{1/\omega C_3}$$

of: $\omega C_p = \omega C_1 + \omega C_2 + \omega C_3$, zodat:

$$\boxed{C_p = C_1 + C_2 + C_3}$$

CONCLUSIE: De vervangingscapaciteit van parallel geschakelde condensatoren is gelijk aan de som van de capaciteiten.

Evenzo:

$$i : i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{X_p} : \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} : \frac{1}{X_3}$$

$$= \frac{1}{1/\omega C_p} : \frac{1}{1/\omega C_1} : \frac{1}{1/\omega C_2} : \frac{1}{1/\omega C_3}$$

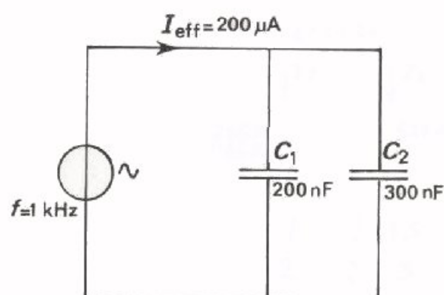
$$= \omega C_p : \omega C_1 : \omega C_2 : \omega C_3$$

of: $$\boxed{i : i_1 : i_2 : i_3 = C_p : C_1 : C_2 : C_3}$$

De wisselstromen verhouden zich bij een parallelschakeling van condensatoren als de capaciteiten van die condensatoren.

Door de *kleinste* capaciteit loopt de *kleinste* stroom.

OEFENING



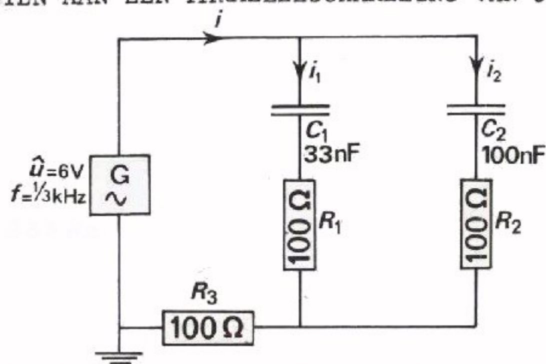
De effectieve waarde van de stroom door C_1 bedraagt:

A

De effectieve waarde van de stroom door C_2 bedraagt:

A

OPDRACHT: METEN AAN EEN PARALLELSCHAKELING VAN C's



- Bereken de reactanties van C_1 en C_2 bij $\frac{1}{3}$ kHz:

$$X_1 = \frac{1}{2\pi f C_1} \approx \quad \boxed{\qquad\qquad \Omega}$$

$$X_2 = \frac{1}{2\pi f C_2} \approx \quad \boxed{\qquad\qquad \Omega}$$

- Merk op: R_1, R_2 en R_3 zijn veel kleiner dan X_1 en X_2, zodat volgens de wet van Ohm geldt:

$$i_1 \approx \frac{u}{X_1} \quad \text{en} \quad i_2 \approx \frac{u}{X_2}.$$

We hebben R_1 en R_2 aangebracht om I_{1_t} en I_{2_t} met de oscilloscoop te kunnen meten (zie les A34).

- Bouw de schakeling.

- Voer een spanning toe van U_t = 6 V bij $f = \frac{1}{3}$ kHz ≈ 333 Hz. Stel de juiste U_t in met behulp van de oscilloscoop (stand 1 V/div).

- Meet vervolgens de spanning over R_1 en R_2.

Over R_1 is $R_1.I_{1_t}$ = $\boxed{\qquad\qquad \text{mV}}$

Over R_2 is $R_2.I_{2_t}$ = $\boxed{\qquad\qquad \text{mV}}$

- Hieruit volgt:

I_{1_t} = $\boxed{\qquad\qquad \text{mA}}$

I_{2_t} = $\boxed{\qquad\qquad \text{mA}}$

- Volgens bovenstaande berekening moet nu gelden:

$$I_{1_t} : I_{2_t} = \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} = C_1 : C_2 = 33 : 100 = 1 : 3.$$

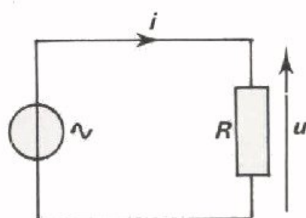
Klopt dit met de meting?

- Meet de spanning over R_3.

Over R_3 is $R_3.I_t$ = $\boxed{\qquad\qquad \text{mV}}$

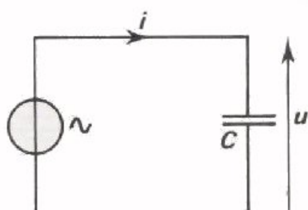
- Hieruit volgt: I_t = $\boxed{\qquad\qquad \text{mA}}$

SAMENVATTING

- 

Voor een weerstand is de weerstandswaarde R gelijk aan het quotiënt van toegevoerde spanning en stroom:

$$R = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{U_t}{I_t}$$

- 

Overeenkomstig is de *wisselstroomweerstand* of *reactantie* X van een condensator gelijk aan het quotiënt van toegevoerde wisselspanning en -stroom:

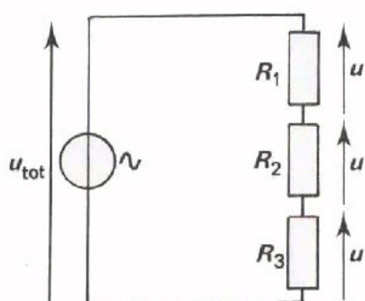
$$X = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{U_t}{I_t}$$

- De weerstandswaarde van een weerstand hangt *niet* af van de frequentie.
- De reactantie van een condensator hangt *wel* af van de frequentie. Hoe hoger de frequentie, des te kleiner de reactantie.
- Ook geldt: hoe hoger de capaciteit, des te kleiner de reactantie.
- De reactantie van een condensator blijkt gelijk te zijn aan:

$$X = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C}$$

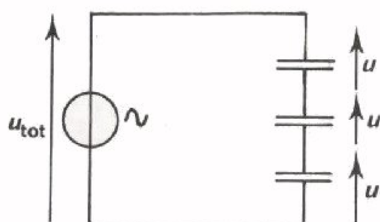
f in Hz
C in F
X in Ω.

Voor wisselstroom is een schakeling van reactanties te vergelijken met een schakeling van weerstanden.



$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

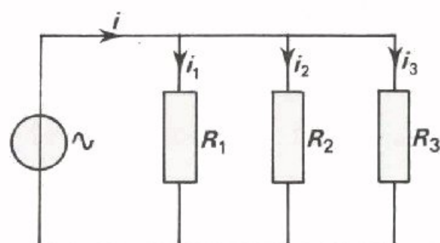
$$u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = R_s : R_1 : R_2 : R_3$$



$$\boxed{X_s = X_1 + X_2 + X_3}$$

$$\boxed{u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = X_s : X_1 : X_2 : X_3}$$

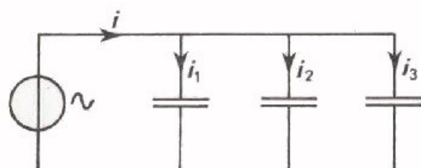
Over de C met de *kleinste* capaciteit staat de *grootste* spanning, omdat zijn reactantie het grootst is.



$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$i_{tot} : i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{R_p} : \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} : \frac{1}{X_3}, \text{ of ook:}$$



$$\boxed{C_p = C_1 + C_2 + C_3}$$

$$i : i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{X_p} : \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} : \frac{1}{X_3}, \text{ of ook:}$$

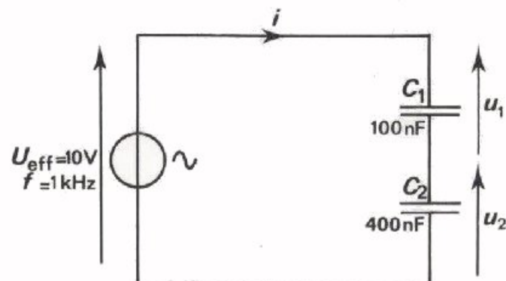
$$\boxed{i : i_1 : i_2 : i_3 = C_p : C_1 : C_2 : C_3}$$

Door de *kleinste* capaciteit loopt ook de *kleinste* stroom, omdat zijn reactantie het grootst is.

NAAM:		KLAS:	

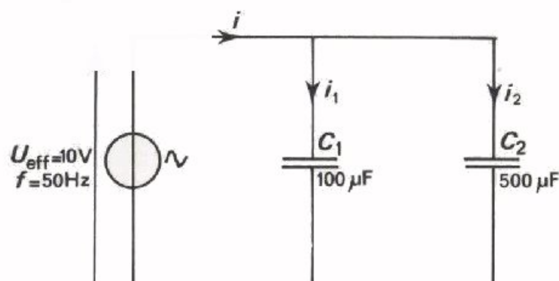
OEFENINGEN

1.



X_1	=	kΩ
X_2	=	kΩ
X_s	=	kΩ
I_{eff}	=	mA
$U_{1\ eff}$	=	V
$U_{2\ eff}$	=	V

2.



X_1	≈	Ω
X_2	≈	Ω
C_p	=	µF
X_p	≈	Ω
$I_{1\ eff}$	≈	A
$I_{2\ eff}$	≈	A
I_{eff}	≈	A



A36.14

A 37 DE FASE VAN WISSELSPANNING EN -STROOM BIJ EEN CONDENSATOR

We hebben al heel wat geleerd over de condensator. Hieronder zetten we nog eens kort en bondig bij elkaar wat we al weten.

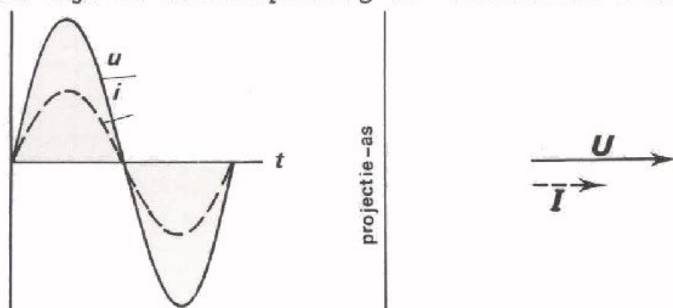
Als men op een weerstand een *sinusvormige* wisselspanning aansluit, dan gaat er door de weerstand een eveneens *sinusvormige* wisselstroom lopen.

Bij een weerstand bestaat er een constante verhouding tussen de toegevoerde wisselspanning en de wisselstroom:

$$\boxed{\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = R}$$

Deze verhouding is onafhankelijk van de frequentie en geldt ook voor gelijkspanning.

Bij een weerstand zijn de wisselspanning en -stroom met elkaar *in fase.*



Als men op een condensator een *sinusvormige* wisselspanning aansluit, dan gaat er in de toevoerleidingen een eveneens *sinusvormige* wisselstroom lopen.

Bij een condensator bestaat er een constante verhouding tussen de toegevoerde wisselspanning en de wisselstroom. Deze verhouding is de wisselstroomweerstand of *reactantie* X van de condensator:

$$\boxed{\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = X}$$

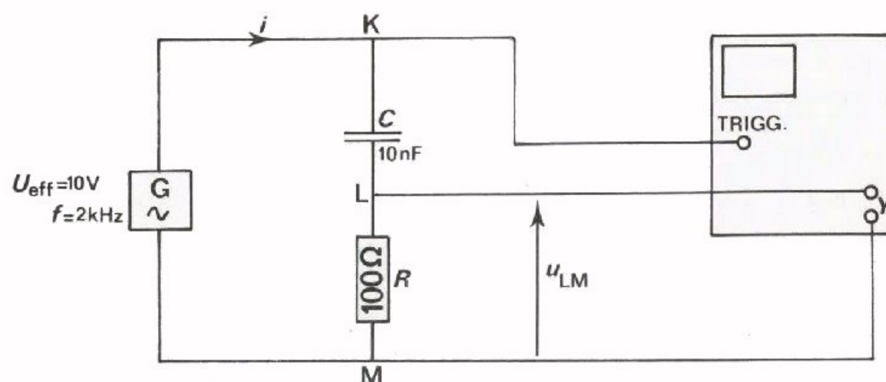
Deze verhouding hangt af van de frequentie:

$$X = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

waarin C de capaciteit van de condensator voorstelt.

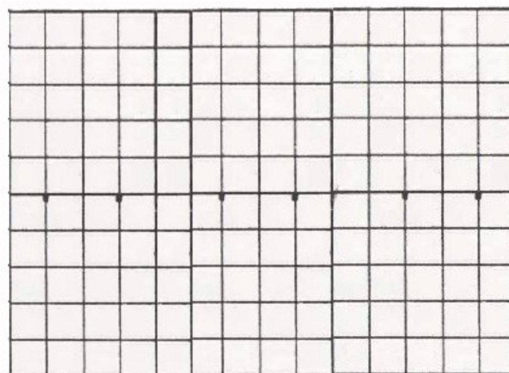
Men kan zich nu afvragen hoe het zit met de fase van de wisselspanning en -stroom bij een condensator. Zijn stroom en spanning hier ook met elkaar in fase of niet? In de volgende opdracht gaan we dit onderzoeken.

OPDRACHT HET BEKIJKEN VAN DE FASE VAN WISSELSPANNING EN -STROOM BIJ EEN CONDENSATOR



- Bouw deze schakeling. Zet "*triggering*" op "*mean*", "+" en "EXT". Zet "0-AC-DC"-schakelaar op "AC". Verbind punt K met "*trigg*"-bus.

- Maak ongeveer twee perioden van de wisselspanning u_{LM} zichtbaar op de oscilloscoop. $u_{LM} = R.i$.
  Schets hiernaast wat u op het scherm ziet.



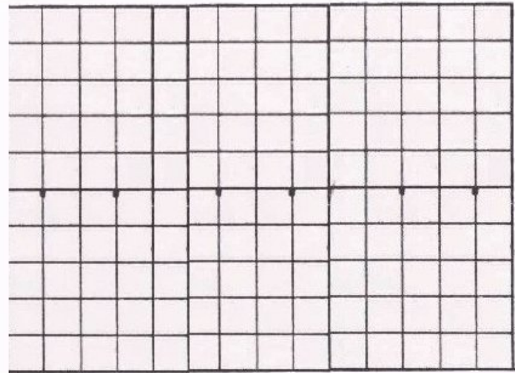
Het verloop van $u_{LM} = R.i$ geeft een beeld van de stroom i door de condensator.

Merk op dat de sinuslijn van deze stroom begint met een momentele waarde die maximaal positief is en dat hij daarna gaat afnemen.

- Bereken de waarde van X bij 2 kHz.

$$X = \frac{1}{2\pi fC} \approx \boxed{}$$

Merk op dat X wel 80 x groter is dan R. De toegevoerde spanning komt dus vrijwel geheel over C te staan. M.a.w. de spanning u_{KM} is nagenoeg gelijk aan de spanning u_{KL}. Willen we dus de spanning over de C bekijken, dan kunnen we net zo goed de spanning u_{KM} bekijken.



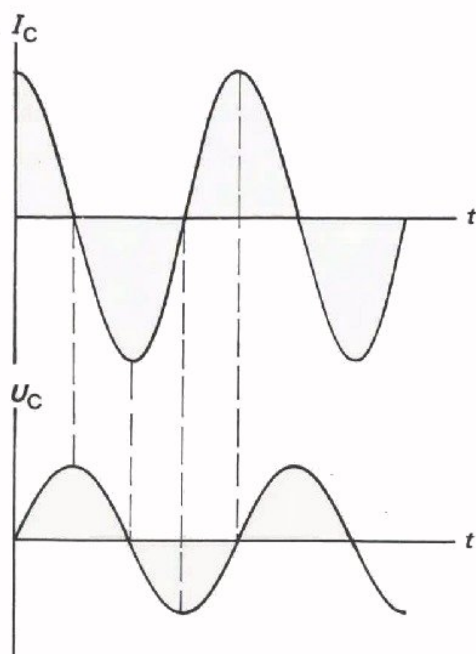
- Voer nu u_{KM} aan de oscilloscoop toe en maak weer twee perioden zichtbaar.
  $u_{KM} = u_{KL}$
  Schets hiernaast wat u op het scherm ziet.

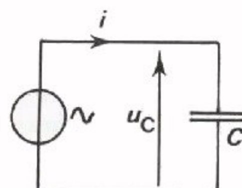
- Vergelijk nu de twee gevonden grafieken met elkaar. De eerste is een afbeelding van de stroom door de condensator en de tweede van de spanning over de condensator.

  U ziet nu, dat de *stroom* 90^0 **voor-/na-ijlt** op de spanning.

BIJ EEN CONDENSATOR IJLT DE WISSELSTROOM 90^0 VOOR OP DE WISSELSPANNING

In de opdracht hebben we gezien dat bij een condensator de wisselstroom 90^0 voorijlt op de wisselspanning.
We zetten dit hieronder nogmaals bij elkaar.



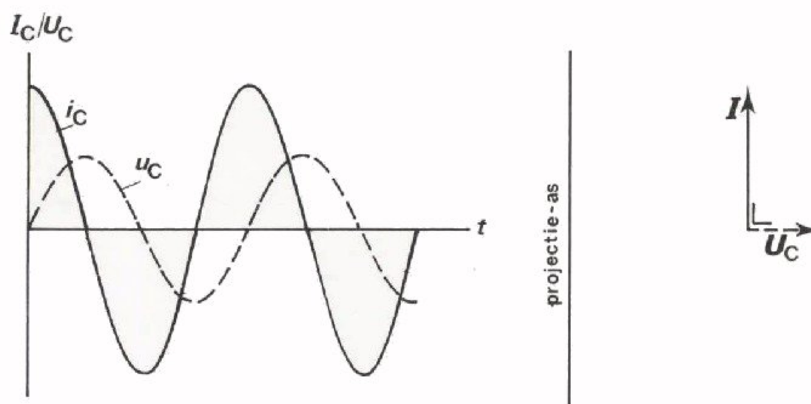


Dit is de grafiek van de momentele waarde van een sinusvormige wisselstroom door een condensator *C*.

Dit is de grafiek van de momentele waarde van de bijbehorende sinusvormige wisselspanning over de condensator.

De eerste grafiek bereikt zijn maximale waarden telkens $\frac{1}{4}$ periode of 90^0 eerder dan de tweede.

Dit 90^0 voorijlen van de stroom is nog duidelijker te zien als we beide grafieken op elkaar tekenen.

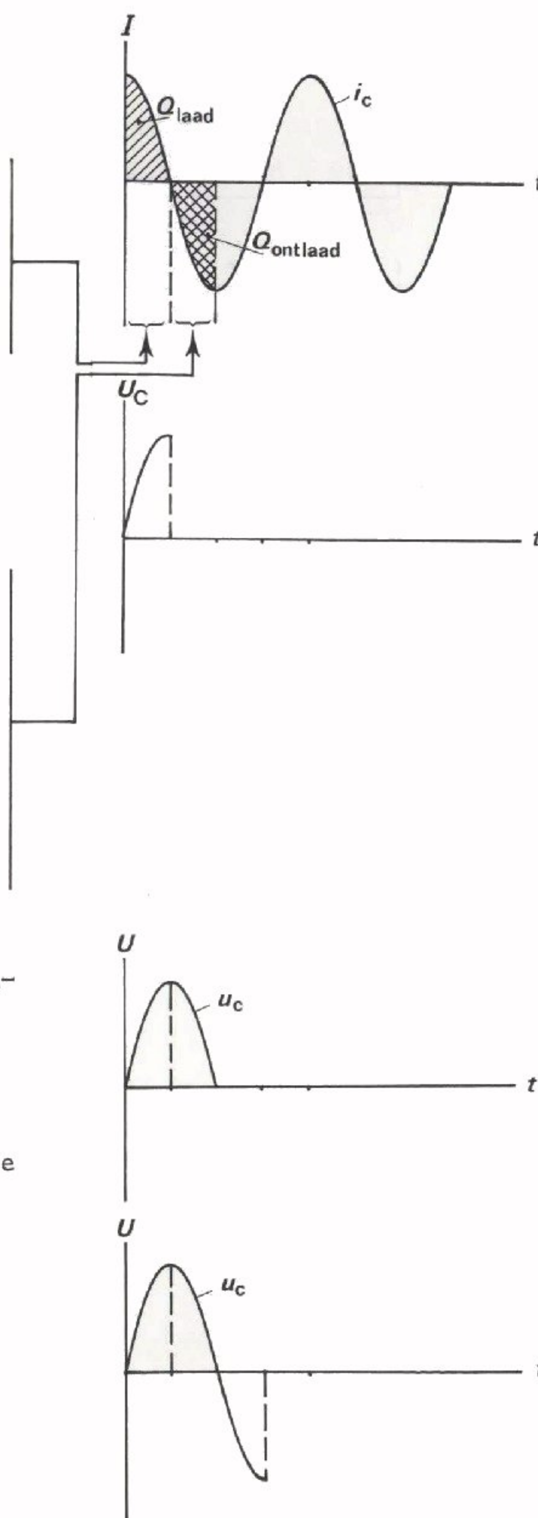


Naast deze grafiek is de vectorvoorstelling van de stroom i_c en de spanning u_c getekend.
Het 90^0 voorijlen van de stroom is hier zeer duidelijk te zien. Op het moment dat de projectie van $\boldsymbol{I}_c$ maximaal is, is de projectie van $\boldsymbol{U}_c$ nul.

NOGMAALS: STROOM EN SPANNING BIJ EEN CONDENSATOR

Dat bij een condensator de stroom 90^0 voorijlt op de spanning is ook als volgt te begrijpen.

Hier is nogmaals de grafiek getekent van een sinusvormige stroom in de toevoerleidingen van een condensator.



In deze eerste kwart periode laadt de stroom de condensator op met een lading Q_{laad} die overeenkomt met het aangegeven oppervlak.

De spanning op de condensator was aanvankelijk nul en neemt in deze eerste kwart periode toe tot een maximale waarde.

In de tweede kwart periode keert de stroom van richting om en gaat de condensator zich ontladen. Als de stroom aan het eind van deze kwart periode zijn maximale negatieve waarde bereikt heeft, is de condensator helemaal ontladen.

Bij dit ontladen vloeit er een lading $Q_{ontlaad}$ weg, die overeenkomt met het oppervlak onder de t-as en gelijk is aan Q_{laad}.

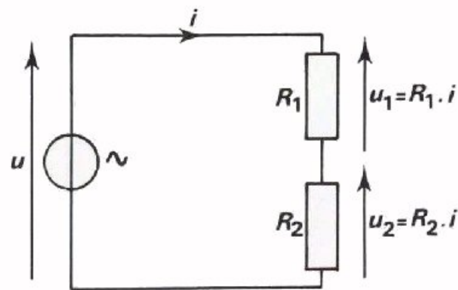
De spanning op de condensator neemt af van zijn maximale waarde tot nul.

In de derde kwart periode blijft de stroom in dezelfde richting lopen en laadt de condensator in tegengestelde richting.

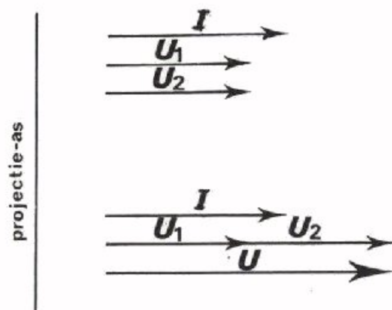
De spanning op de condensator neemt weer toe, maar ook in tegengestelde richting.

Ook via deze redenering wordt duidelijk, dat bij een condensator de stroom 90^0 voorijlt op de spanning.

SERIESCHAKELINGEN VAN WEERSTANDEN EN CONDENSATOREN



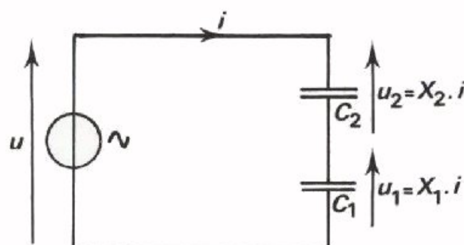
Sluiten we twee gelijke weerstanden in serie aan op een wisselspanning, dan loopt er een en dezelfde stroom i door elk van de weerstanden. Zowel de spanning u_1 over de ene weerstand als de spanning u_2 over de andere is in fase met i.



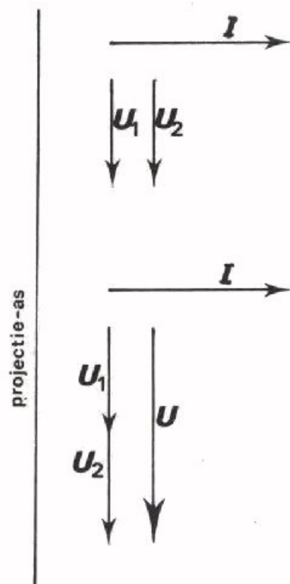
Hiernaast zijn de vectoren $\boldsymbol{I}$, $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ getekend.
De totaal toegevoerde spanning vindt men als volgt:

- Zet $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ achter elkaar.
- Verbind het begin van $\boldsymbol{U}_1$ met het eind van $\boldsymbol{U}_2$.

Als $\hat{u}$ = 8 V, dan zijn $\hat{u}_1$ en $\hat{u}_2$ elk 4 V, omdat de weerstanden gelijk zijn.



Sluiten we twee gelijke condensatoren in serie aan op een wisselspanning, dan loopt er ook een en dezelfde stroom i door elke C. Zowel de spanning u_1 over de ene condensator, als de spanning u_2 over de andere ijlt 90^0 na op i.

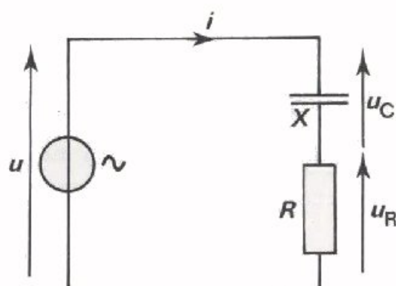


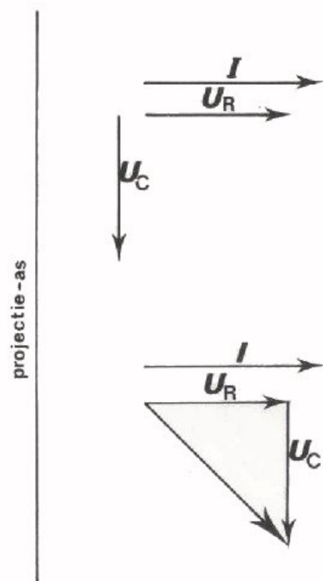
Hiernaast zijn de vectoren $\boldsymbol{I}$, $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ getekend.
De totaal toegevoerde spanning u vindt men als volgt:

- Zet $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ achter elkaar.
- Verbind het begin van $\boldsymbol{U}_1$ met het eind van $\boldsymbol{U}_2$.

Als U_t = 8 V, dan zijn U_{1_t} en U_{2_t} elk 4 V, omdat de reactanties van de condensatoren gelijk zijn.

Sluiten we nu een weerstand en een condensator in serie aan op een wisselspanning, dan loopt een en dezelfde stroom door beide componenten. Daarbij is u_R in fase met i, terwijl u_c 90° naijlt op i. Kiezen we de frequentie zodanig dat de wisselstroomweerstand X van de condensator gelijk is aan de waarde van de weerstand dan is de grootte van u_R gelijk aan die van u_c.





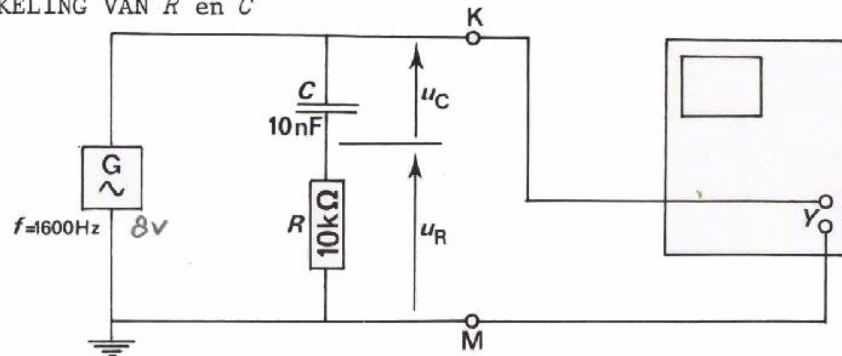
Hiernaast zijn de vectoren $\boldsymbol{I}$, $\boldsymbol{U}_R$ en $\boldsymbol{U}_c$ getekend.
$\boldsymbol{U}_R$ is in fase met $\boldsymbol{I}$ en $\boldsymbol{U}_c$ ijlt 90° na op $\boldsymbol{I}$. $\boldsymbol{U}_R$ en $\boldsymbol{U}_c$ zijn even lang getekend, zodat blijkbaar $R = X$. De vector van de totaal toegevoerde spanning $\boldsymbol{U}$ vindt men als volgt:

- Zet $\boldsymbol{U}_R$ en $\boldsymbol{U}_c$ achter elkaar.
- Verbind het begin van $\boldsymbol{U}_R$ met het eind van $\boldsymbol{U}_c$.

Wegens de 90° faseverschuiving tussen u_R en u_c is de toestand geheel anders dan in de twee vorige gevallen. Als nu U_t = 8 V, dan zijn U_{Rt} en U_{Ct} *niet* elk 4 V, maar *meer dan* 4 V.

In de volgende opdracht gaan we dit constateren.

OPDRACHT: SERIESCHAKELING VAN R en C



In deze schakeling bevindt zich een condensator C = 10 nF. De reactantie van deze condensator is bij de gebruikte frequentie:

$$X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi.1600.10.10^{-9}} = \frac{10^9}{2\pi.1600.10} = 10\ 000\ \Omega = 10\ k\Omega.$$

Bij deze frequentie zijn X en R dus gelijk.

- Bouw de schakeling en voer een sinusvormige wisselspanning toe met U_t = 8 V en f = 1600 Hz.
- Stel de scoop als volgt in:

"*trigg*":	INT
"*time*/div":	0,2 ms
"Y-*ampl*":	2 V/div
"0-AC-DC":	AC.

Meet nu volgende spanningen met de **universeelmeter**:

U_{KMt} = 8 V

U_{Rt} = [ ] V

Verwissel R en C van plaats.

U_{Ct} = [ ] V

U ziet al meteen dat $U_{Rt} + U_{Ct}$ niet gelijk is aan U_{KMt}.

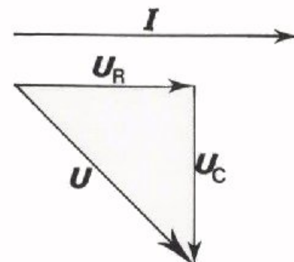
- Volgens het vectordiagram geldt:

$$U^2_{Rt} + U^2_{Ct} = U^2_t$$

Controleer door de gemeten waarden in te vullen of dit waar is.

[ ] + [ ] = 8^2

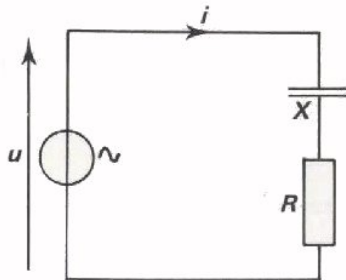
of [ ] + [ ] = 64 :



DE IMPEDANTIE VAN EEN SERIESCHAKELING VAN R EN C

De verhouding $\frac{u}{i}$ noemen we voor een "weerstand" de *weerstand* R van deze component.

De verhouding $\frac{u}{i}$ noemen we voor een condensator de *reactantie* X van de condensator.



Ook bij een combinatie van R en C in serie is er een bepaalde verhouding $\frac{u}{i}$.

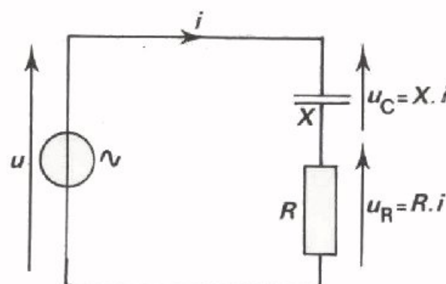
Deze noemen we de *impedantie*, aangeduid met Z.

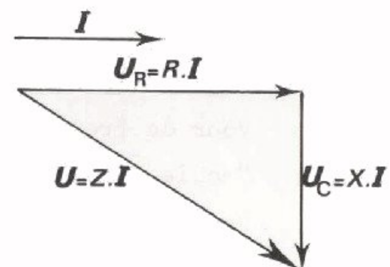
Evenals de reactantie is deze impedantie een *wisselstroom*weerstand.

$Z = \frac{u}{i}$ of $u = Z.i$ of $i = \frac{u}{Z}$

Evenals R en X wordt Z uitgedrukt in Ω.

Hoe groot is nu de impedantie Z van een serieschakeling van R en C? Dit leiden we af uit het vectordiagram.





Ga precies na hoe het vectordiagram van deze serieschakeling ontstaan is.
Uit het diagram volgt met de stelling van Pythagoras:

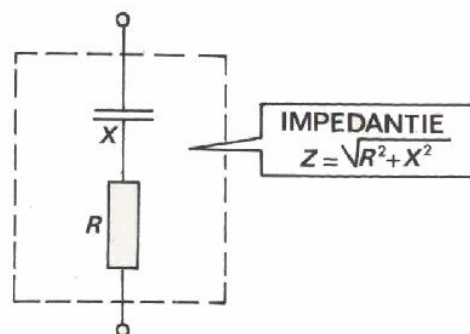
$$u^2 = u_R^2 + u_C^2$$

$$(Z.i)^2 = (R.i)^2 + (X.i)^2$$

$$Z^2.i^2 = R^2.i^2 + X^2.i^2$$

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

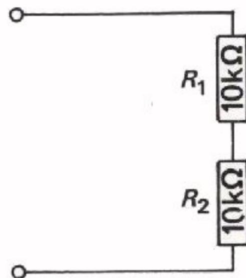
$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + X^2}}$$



Wat voor nut heeft het Z te weten? Als Z bekend is, dan kan men voor een gegeven waarde van u de stroom i berekenen uit:

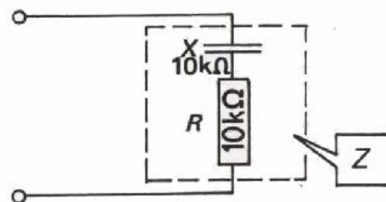
$$i = \frac{u}{Z}$$

LET OP!



Hier is:

$$R_s = R_1 + R_2$$
$$= 10 + 10 = 20\ k\Omega.$$



Hier geldt:

niet $Z = R + X$,

maar: $Z^2 = R^2 + X^2$

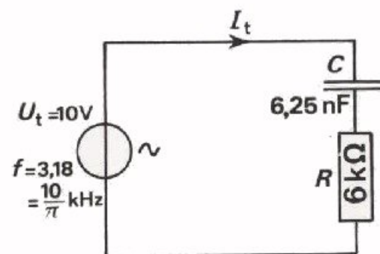
$= 10^2 + 10^2 = 200$

zodat $Z = \sqrt{200} \approx 14\ k\Omega$

VOORBEELD

We geven hier een voorbeeld van een volledige berekening aan een serieschakeling van een C en R. Ga deze berekening stap voor stap na.

Gegeven is deze schakeling. Voor de frequentie is een "mooie" waarde gekozen om de berekeningen wat de vereenvoudigen.



We willen de stroom i berekenen.

We gaan als volgt te werk:

$I_t = \frac{U_t}{Z}$ *Eerst Z berekenen:* $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

Dus eerst X berekenen:

$$X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi\ \frac{10}{\pi}\ 10^3\ 6{,}25.10^{-9}} = \frac{10^5}{12{,}5}\ \Omega = 8\ k$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{100} = 10\ k\Omega$$

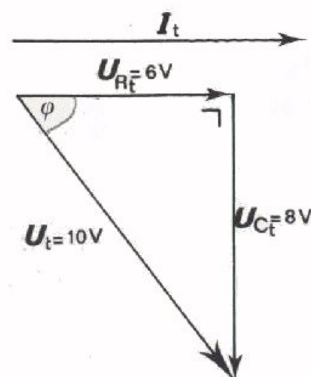
$36 + 64 = 100$

$$I_t = \frac{U_t}{Z} = \frac{10}{10^4} = 10^{-3}\ A = 1\ mA$$

We kunnen ook de spanningen U_{Rt} en U_{Ct} bepalen.

$$U_{Rt} = I_t R = 10^{-3}.6.10^3 = 6 \text{ V.}$$

$$U_{Ct} = I_t X = 10^{-3}.8.10^3 = 8 \text{ V.}$$



We zijn in staat het vector-diagram te tekenen.

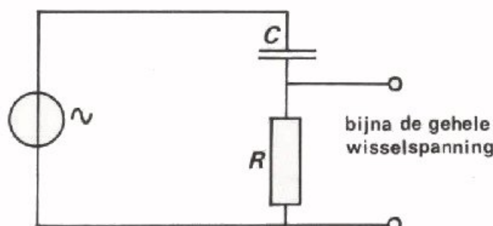
Probeer nu zelf eens de cosinus van de hoek van faseverschuiving tussen de totale spanning u en de stroom i uit dit vector-diagram te bepalen.

cos φ =

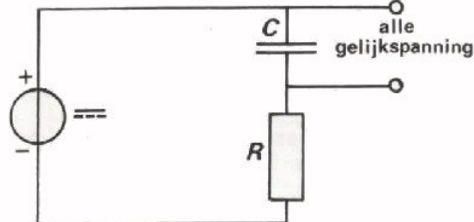
HET SCHEIDEN VAN WISSEL- EN GELIJKSPANNING

Als een van de toepassingen van de condensator is reeds gewezen op de mogelijkheid gelijk- en wisselspanning te scheiden. We bekijken dit eens wat nauwkeuriger.

In het voorgaande hebben we gezien, dat de totale wisselspanning bij een serieschakeling van C en R zich verdeelt over beide componenten. In het voorbeeld van blad A37.7 geschiedde deze verdeling in gelijke stukken, omdat $R = X$.



R ≫ X

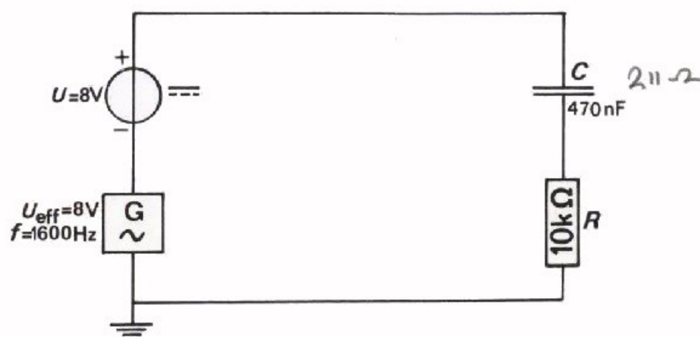


Wil men bereiken, dat over C bijna geen wisselspanning staat, dan moet men de reactantie X veel kleiner maken dan de waarde van R.
In dat geval staat er nagenoeg geen wisselspanning over de C.

Sluit men op de serieschakeling van C en R een gelijkspanning aan, dan komt deze gelijkspanning geheel over de C te staan. Voor gelijkspanning is de condensator immers een isolator. Hij heeft dus een weerstand die altijd groot is ten opzichte van R.

Sluit men een combinatie van een gelijk- en een wisselspanning aan op een serieschakeling van R en C, dan kan men deze spanningen van elkaar scheiden. Als $R >> X$, dan komt de gelijkspanning over de C en de wisselspanning over de R te staan.

OPDRACHT: SPANNINGSVERDELING OVER EEN SERIESCHAKELING VAN *R* EN *C*



- Bouw deze schakeling op het paneel.
- Stel de wisselspanning met behulp van een universeelmeter in op U_{eff} = 8 V.
- Stel de gelijkspanning met behulp van de universeelmeter in op U = 8 V.
- Bereken X. X = [ ]

  X is veel **groter/kleiner** dan R.

- Meet met de meter in de stand ~ :

  U_{eff} = [ ]

  $U_{R(eff)}$ = [ ]

  $U_{C(eff)}$ = [ ]

- Meet met de meter in de stand ═ :

  U = [ ]

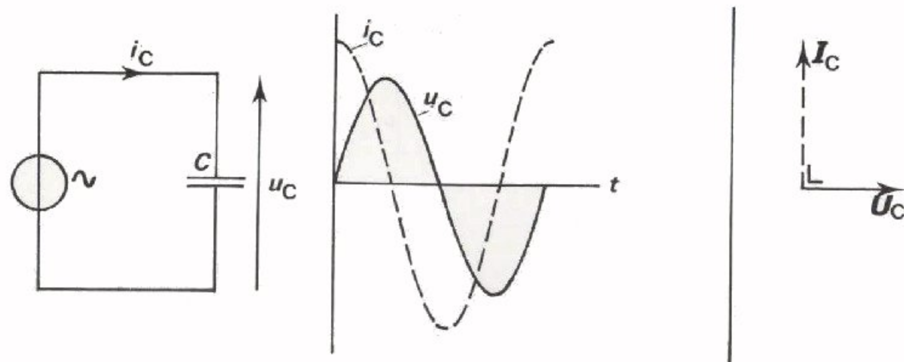
  U_R = [ ]

  U_C = [ ]

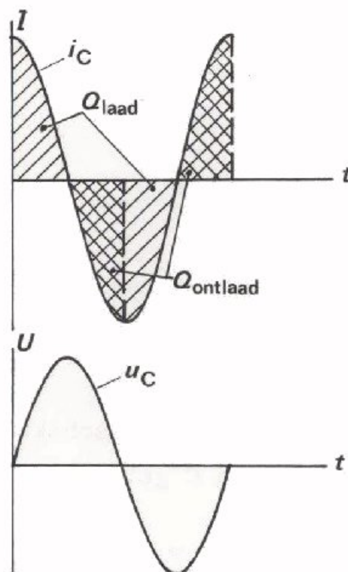
U ziet dat de wisselspanningscomponent van de totaal toegevoerde spanning nagenoeg geheel over *R* en de gelijkspanningscomponent geheel over *C* komt.

SAMENVATTING

•

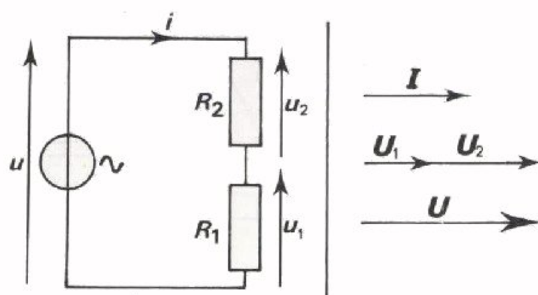


• Bij een condensator ijlt de wisselstroom i_c 90° voor op de wisselspanning u_c.



Bij wisselspanning op een condensator wordt de C een kwart periode lang geladen, in de volgende kwart periode ontladen, enz.

•

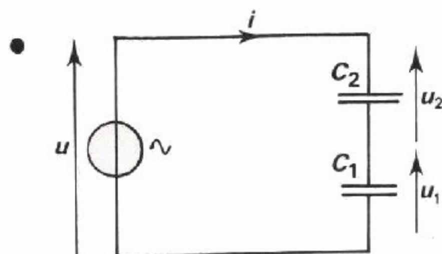


Bij een serieschakeling van weerstanden geldt:

$$u = u_1 + u_2$$

$$R_s = R_1 + R_2$$

$$u_1 : u_2 = R_1 : R_2 .$$

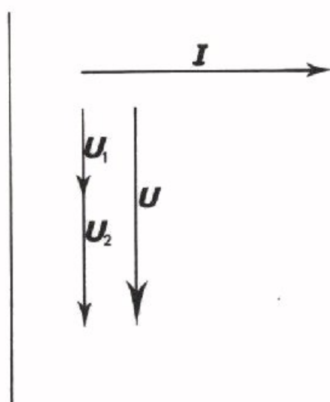


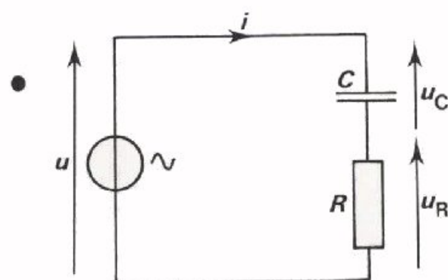
Bij een serieschakeling van condensatoren geldt:

$$u = u_1 + u_2$$

$$X_s = X_1 + X_2$$

$$u_1 : u_2 = X_1 : X_2$$





Bij een serieschakeling van een R en een C geldt:

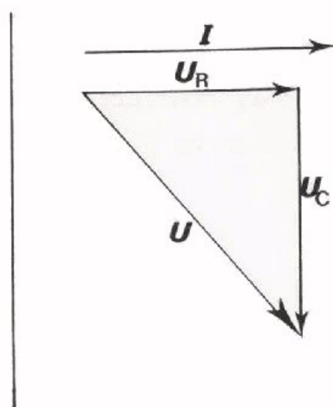
$$u^2 = u_R^2 + u_c^2, \text{ zodat:}$$

$$\boxed{u = \sqrt{u_R^2 + u_c^2}}$$

$$Z^2 = R^2 + X^2, \text{ zodat:}$$

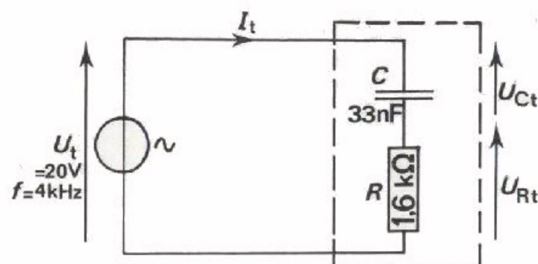
$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}}$$

$$\boxed{u_R : u_c = R : X}$$



NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN



1. Bereken de reactantie van de condensator. X = [ ] kΩ

2. Bereken de impedantie van de serieschakeling van de weerstand en de condensator.

   Z = [ ] kΩ

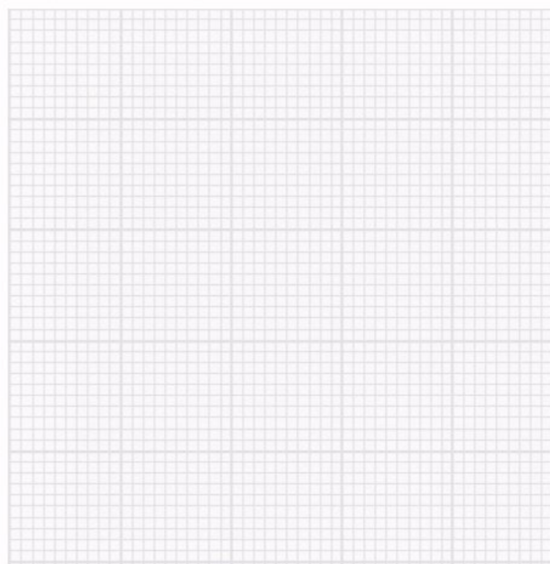
3. Bereken de stroom door de schakeling. I_t = [ ] mA

4. Bereken de deelspanningen U_{Rt} en U_{ct}. U_{Rt} = [ ] V

   U_{ct} = [ ] V

5. Teken hiernaast het vectordiagram voor bovenstaande schakeling.
   Gebruik de volgende schalen:

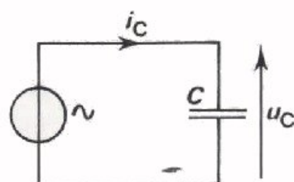
   1 mA = 0,5 cm
   1 V = 0,25 cm

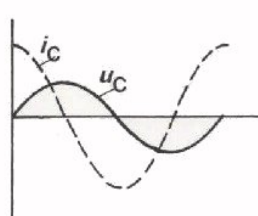


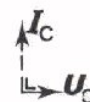
A 38 DE PARALLELSCHAKELING VAN *R* EN *C*

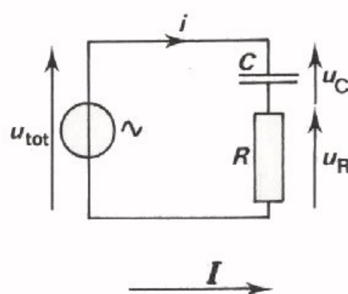
We halen eerst nog wat oude kennis op.

- Bij een condensator ijlt de stroom 90^0 voor op de spanning.



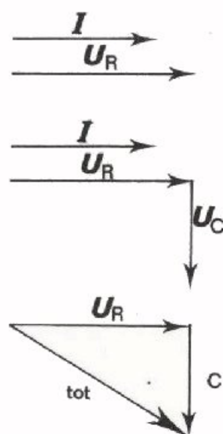




- 

We hebben ook de serieschakeling van een *R* en een *C* bekeken. Deze serieschakeling is pas goed te begrijpen aan de hand van een vectordiagram. We zullen dit nog eens stap voor stap tekenen.

We beginnen met die wisselstroomgrootheid te tekenen,die voor beide componenten dezelfde is. In dit geval is dat de *stroom*. We tekenen daarom horizontaal de $\boldsymbol{I}$-vector. We gaan nu de verschillende spanningen bekijken ten opzichte van deze stroom.



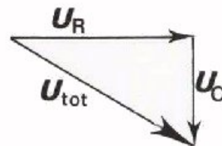
De spanning over de weerstand u_R is in fase met de stroom. We tekenen de vector $\boldsymbol{U}_R$ dus eveneens horizontaal.

De deelspanning over de condensator u_C ijlt 90^0 na op de stroom, zodat we de vector $\boldsymbol{U}_C$ verticaal naar beneden moeten tekenen.

Tenslotte kunnen we de totale spanning u_{tot} construeren als de vectorsom van $\boldsymbol{U}_R$ en $\boldsymbol{U}_C$ door het begin van $\boldsymbol{U}_R$ te verbinden met het eind van $\boldsymbol{U}_C$.

Het verband tussen deze spanningen vinden we met behulp van de stelling van Pythagoras.

$$U^2_{(tot)t} = U^2_{Rt} + U^2_{Ct}$$



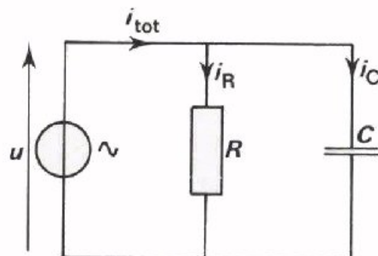
De lengten van de vectoren zijn:

$$U_{Rt} = R.I_t$$
$$U_{Ct} = X.I_t$$
$$U_{(tot)t} = Z.I_t,$$

zodat na enig gereken de wisselstroomweerstand of impedantie van de serieschakeling volgt:

$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + X^2}}$$

DE PARALLELSCHAKELING VAN R EN C



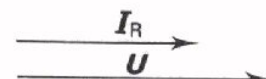
Hier zijn een R en een C parallel aangesloten op een sinusvormige wisselspanningsbron. Willen we nu weten hoe deze schakeling zich gedraagt, dan moeten we weer het vectordiagram tekenen. We zullen dit stap voor stap gaan doen.

We beginnen weer met de wisselstroomgrootheid, die voor beide componenten dezelfde is. In dit geval is dat de wissel*spanning* u. We tekenen $\boldsymbol{U}$ horizontaal.

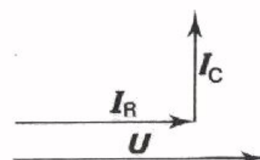


We gaan nu de verschillende stromen bekijken ten opzichte van deze spanning.

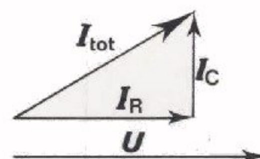
We kunnen de vector $\boldsymbol{I}_R$ eveneens horizontaal tekenen. Bij een weerstand zijn stroom en spanning immers in fase.



De stroom door de condensator ijlt 90^0 voor op de spanning. De vector $\boldsymbol{I}_C$ moeten we dus verticaal omhoog tekenen.



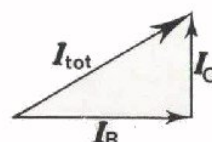
Tenslotte kunnen we de totale stroom $\boldsymbol{I}$ vinden als de vectorsom van $\boldsymbol{I}_R$ en $\boldsymbol{I}_C$. We moeten dus het achtereind van $\boldsymbol{I}_R$ verbinden met het vooreind van $\boldsymbol{I}_C$.



Op de verkregen rechthoekige driehoek kunnen we de stelling van Pythagoras toepassen. We vinden dan:

$$I^2_{(tot)t} = I^2_{Rt} + I^2_{Ct}$$

Nu is: $I_{(tot)t} = \frac{U_t}{Z}$, $I_{Rt} = \frac{U_t}{R}$ en $I_{Ct} = \frac{U_t}{X}$,



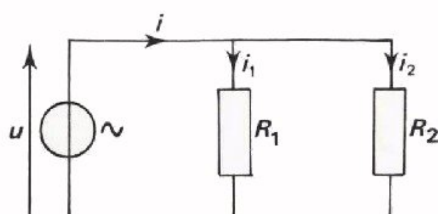
zodat: $(\frac{U_t}{Z})^2 = (\frac{U_t}{R})^2 + (\frac{U_t}{X})^2$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}$$

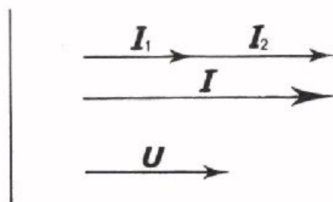
$$\boxed{\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}}$$

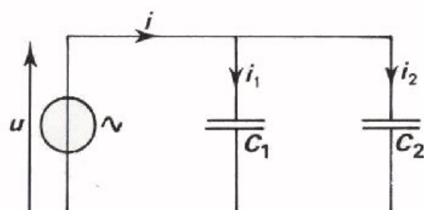
Uit deze formule is $\frac{1}{Z}$ en dus ook de wisselstroomweerstand of impedantie Z van de parallelschakeling te berekenen.

MERK OP:

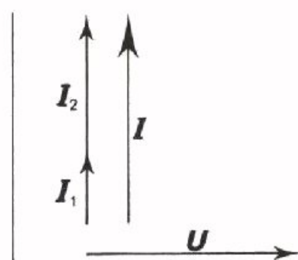


Bij parallel geschakelde *weerstanden* geldt: $i = i_1 + i_2$.
Immers i_1 en i_2 zijn in fase.
Bovendien zijn i_1 en i_2 in fase met u.

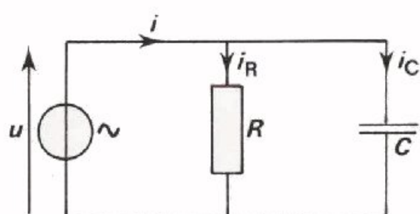




Ook bij parallel geschakelde *condensatoren* geldt: $i = i_1 + i_2$.
Immers ook nu zijn i_1 en i_2 in fase, maar beide ijlen 90^0 voor op u.



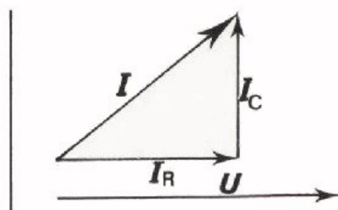
Als echter een R en een C parallel worden geschakeld zijn i_R en i_c *niet* in fase, zodat dan *niet* geldt:



$I_t = I_{1_t} + I_{2_t}$, maar

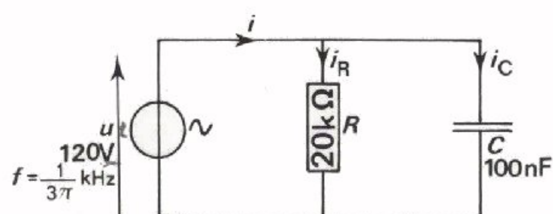
$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{I}_2$, waaruit volgt:

$$I_t = \sqrt{I_{Rt}^2 + I_{Ct}^2}$$



Merk tenslotte op dat bij een serie- zowel als bij een parallel R-C-combinatie de stroom voorijlt op de spanning, maar minder dan 90^0.

OEFENING



Gevraagd:

1. Bereken X. $X =$ [kΩ]

2. Bereken $\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}$

   en Z. $\frac{1}{Z} =$ [ ]

   $Z =$ [kΩ]

3. Bereken $I_{Rt} = \frac{U_t}{R}$, $I_{Ct} = \frac{U_t}{X}$ en $I_t = \frac{U_t}{Z}$

   $I_{Rt} =$ [mA]

   $I_{ct} =$ [mA]

   $I_t =$ [mA]

   Controleer of: $I_t^2 = I_{Rt}^2 + I_{Ct}^2$ [ja/nee]

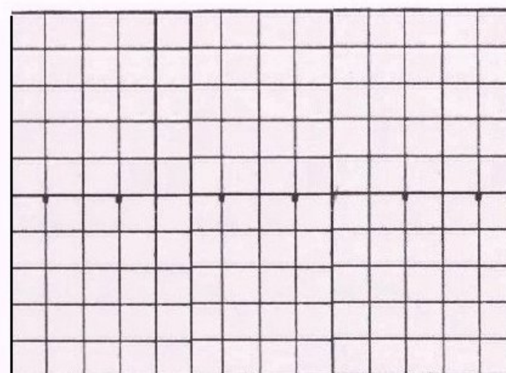
   $I_t = I_{Rt} + I_{Ct}$ [ja/nee]

4. Teken hiernaast het vector-diagram van u, i_R, i_C en i.

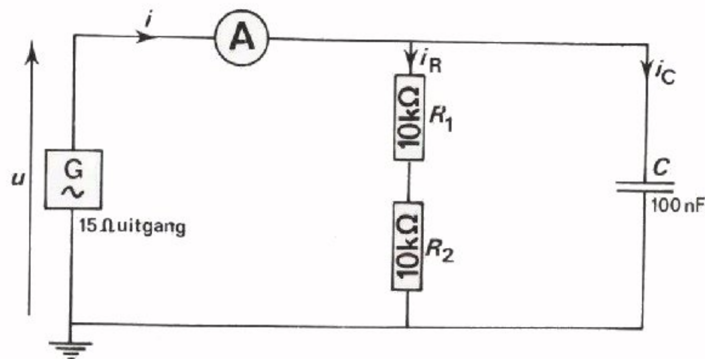
   Houd aan:

   20 V = 1 cm

   2 mA = 1 cm



OPDRACHT: METEN AAN R EN C PARALLEL



- Bouw bovenstaande schakeling, die overeenkomt met die van de voorgaande oefening.

- Voer aan de gehele schakeling een stroom toe van 0,5 mA bij een frequentie van 106 Hz.

- Plaats de universeelmeter in de 3 mA-stand. (Niet in de "300 µA - stand", want dan is de R_i van de meter te groot om bij deze opdracht goed te kunnen meten).

- Meet daarna door de universeelmeter telkens te verplaatsen i_R en i_c.

i_R =		mA
i_c =		mA

- Bereken of inderdaad klopt: $I_t^2 = I_{Rt}^2 + I_{Ct}^2$.

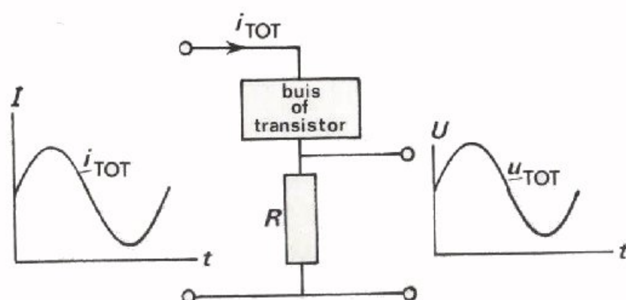
	=		+	

- U ziet, nu geldt *niet* $I_t = I_{Rt} + I_{Ct}$!

AFVLAKKING

Het parallel schakelen van een condensator aan een weerstand komt men in de elektronica vaak tegen. Een voorbeeld hiervan is het volgende:

In versterkers met buizen of transistoren komt het veel voor, dat er een *pulserende gelijkstroom* i_{TOT} loopt, die de som is van een gelijkstroomcomponent I en een wisselstroomcomponent i. Verder moet men in de versterker beschikken over een *zuivere gelijkspanning*, die evenredig is met de gelijkstroomcomponent.

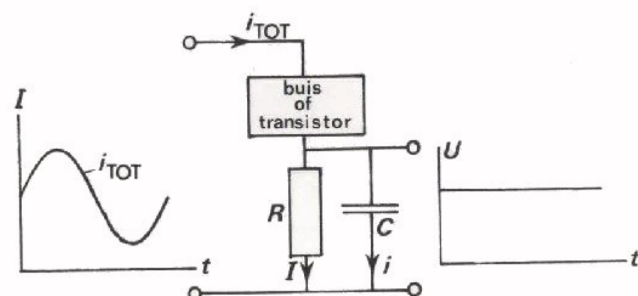


Als men de pulserende gelijkstroom i_{TOT} door een weerstand R laat lopen, ontstaat over deze R een pulserende gelijkspanning die net zo verloopt als de stroom.

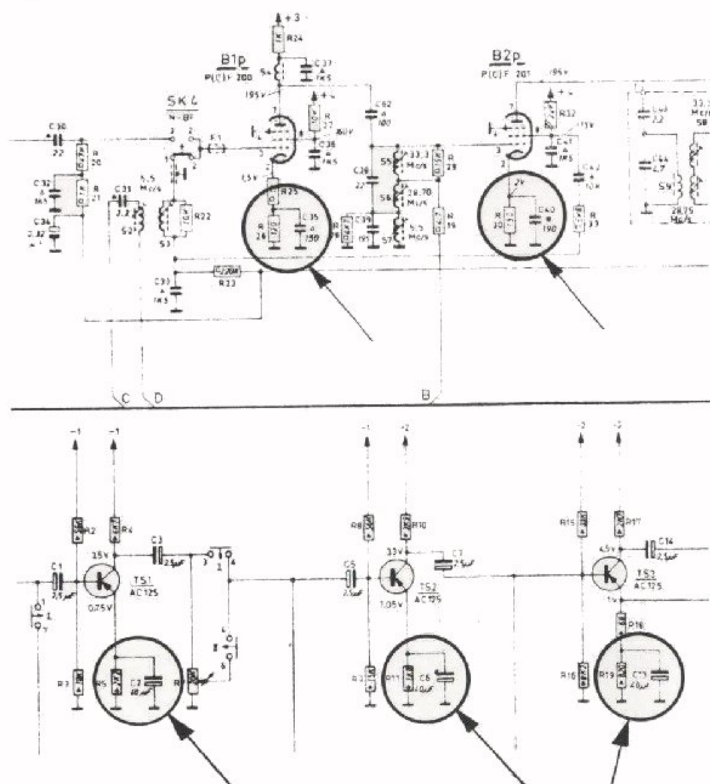
Schakelt men nu een condensator parallel aan de R, er daarbij voor zorgend dat

$$X \ll R,$$

dan zal de C de R als het ware voor wisselspanning kortsluiten. Over de R komt dan een zuivere gelijkspanning te staan. Men zegt dat de C de spanning over de R heeft "afgevlakt".

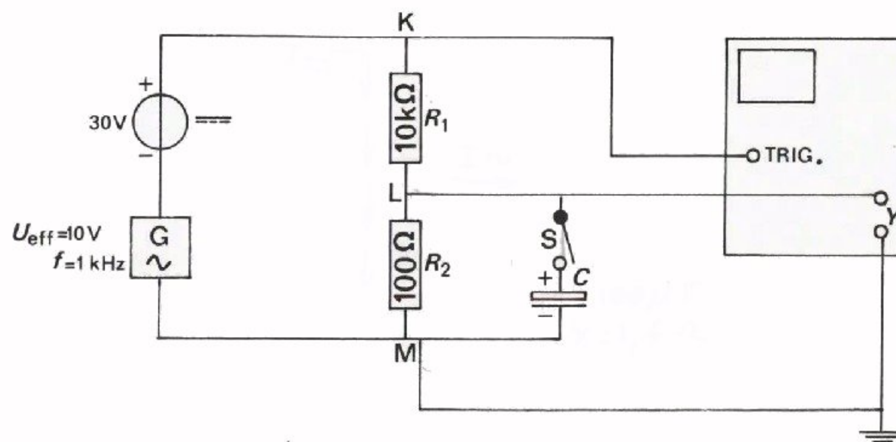


In onderstaande delen van schema's hebben wij de plaatsen waar men dit toepast omlijnd.



In de volgende opdracht gaan we zelf de afvlakking constateren.

OPDRACHT: AFVLAKKING CONSTATEREN



- Bouw deze schakeling. Let op de + en − van de elco. Laat S open. Stel de oscilloscoop in op "DC"

  trigg: "EXT"

  Y-shift, zó dat de nullijn geheel onderaan op het scherm ligt.

- Bereken de *X* van de condensator.

  $X =$ ☐

  U ziet dat $X \ll R_2$, zodat bij sluiten van S nagenoeg alle wisselstroom door *C* en een vrijwel zuivere gelijkstroom door *R* zal lopen. Over *R* ontstaat dan de gewenste gelijkspanning.

- Maak U_{KL} op de oscilloscoop zichtbaar; bij open schakelaar is $U_{LM} \ll U_{KL}$ dus $U_{KL} \approx U_{KM}$.

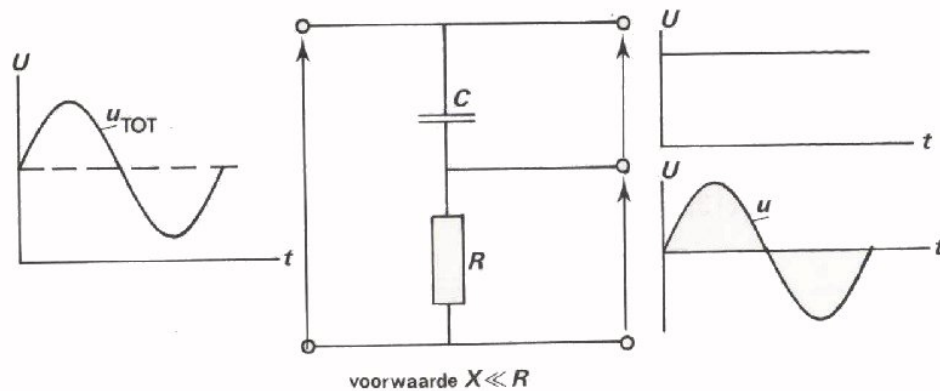
- Maak − met S nog steeds open − U_{LM} zichtbaar.

- Sluit nu S en kijk wat er met U_{LM} op het scherm gebeurt.

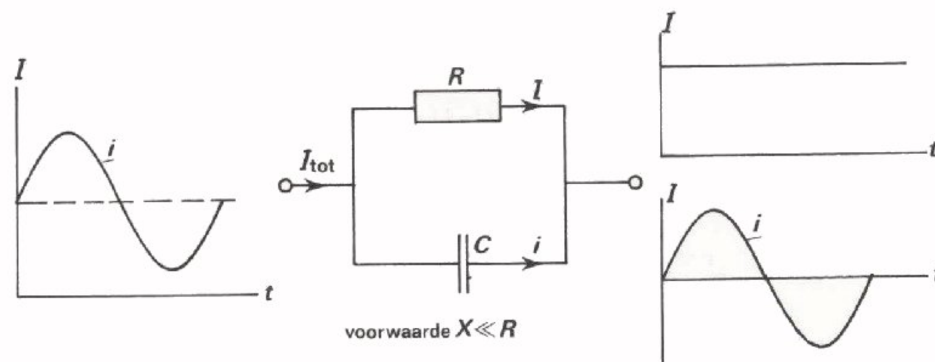
HET SCHEIDEN VAN GELIJK- EN WISSELSPANNING EN HET SCHEIDEN VAN GELIJK- EN WISSELSTROOM

Zowel in deze als in de vorige les hebben we iets geleerd over het scheiden van een gelijk- en een wisselstroomcomponent. We zetten hier kort bij elkaar waar het om draait.

- Een *serie*-schakeling van een R en een C is geschikt om gelijk- en wisselspanning van elkaar te scheiden.



- Een *parallel*-schakeling van een R en een C is geschikt om de gelijk- en wissel*stroom* van elkaar te scheiden.

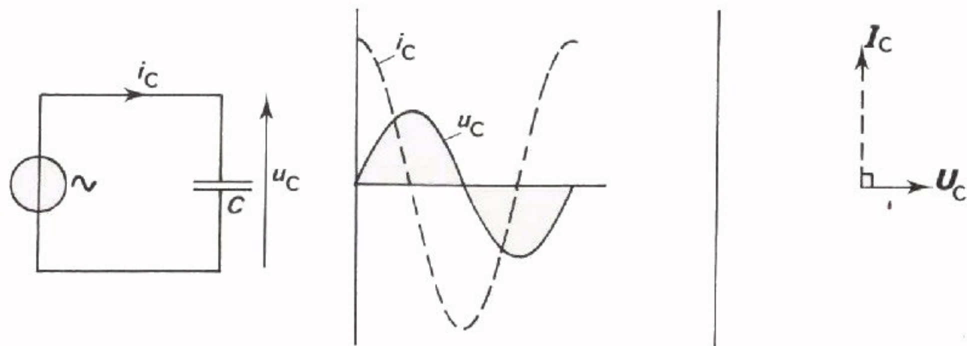


In beide gevallen moet de reactantie van de C veel kleiner zijn dan de weerstand van de R.

OPMERKING: In het hier gegeven voorbeeld is de stroomscheiding niet zo zinvol, immers, de stromen worden toch weer samengevoegd. In de praktijk komt dit echter veel voor, onder andere in de versterkertechniek. We komen hier later in de delen B en C van de cursus uitgebreid op terug.

SAMENVATTING

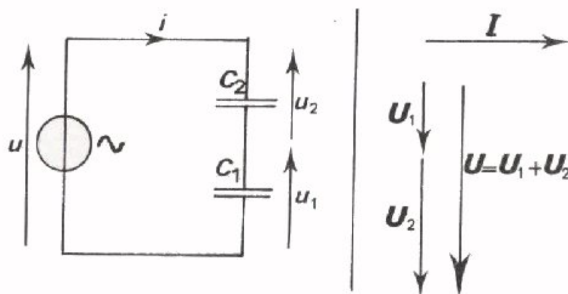
We vatten nu deze en de vorige les samen om de serie- en de parallelschakeling van een R en een C goed te kunnen vergelijken.



Bij een condensator ijlt de wisselstroom 90° voor op de wisselspanning. Het quotiënt van spanning en stroom, de reactantie X, is gelijk aan:

$$X = \frac{u}{i} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$$

SERIE



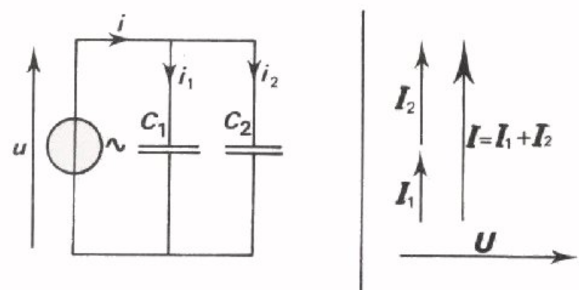
$u = u_1 + u_2$, omdat u_1 en u_2 in fase zijn.

$$\frac{u}{i} = X_s = X_1 + X_2$$

of $\frac{1}{\omega C_s} = \frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2}$

$$u_1 : u_2 = X_1 : X_2 = \frac{1}{\omega C_1} : \frac{1}{\omega C_2}$$

PARALLEL

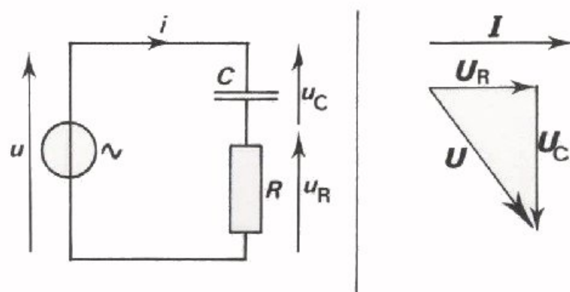


$i = i_1 + i_2$, omdat i_1 en i_2 in fase zijn.

$$\frac{i}{u} = \frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}$$

of $C_p = C_1 + C_2$

$$i_1 : i_2 = \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} = C_1 : C_2$$



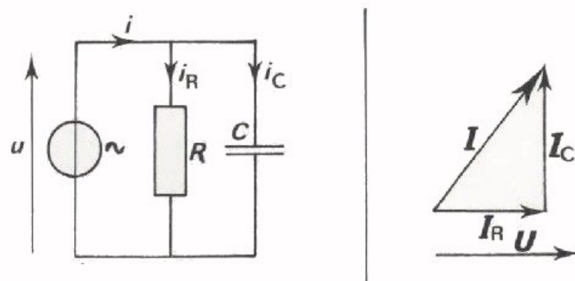
Begin met i te tekenen omdat deze *dezelfde* is bij R en C!
Daarna u_R, u_C en u.

$\boldsymbol{U} = \boldsymbol{U}_R + \boldsymbol{U}_C$ of $u = \sqrt{U_{Rt}^2 + U_{Ct}^2}$

omdat U_{Rt} en U_{Ct} 90^0 in fase verschoven zijn

$$\frac{U_t}{I_t} = Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$U_{Rt} : U_{Ct} = R : X$$



Begin met u te tekenen omdat deze *dezelfde* is bij R en C!
Daarna i_R, i_C en i.

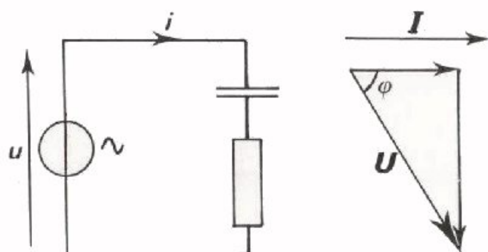
$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{I}_R + \boldsymbol{I}_C$ of $i = \sqrt{I_{Rt}^2 + I_{Ct}^2}$

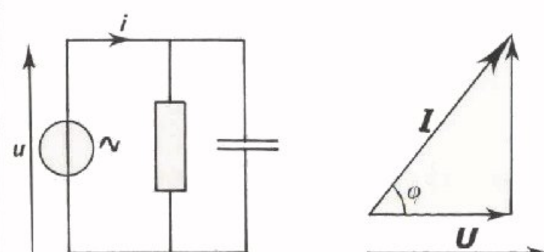
omdat I_{Rt} en I_{Ct} 90^0 in fase verschoven zijn

$$\frac{I_t}{U_t} = \frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{R^2}}$$

$$I_{Rt} : I_{Ct} = \frac{1}{R} : \frac{1}{X}$$

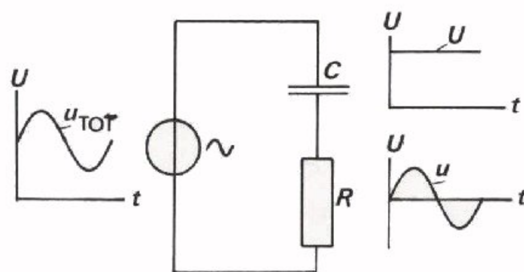
MERK OP: Bij een combinatie van een R en een C ijlt de toegevoerde stroom i altijd over een hoek φ, die kleiner is dan 90^0, voor op de toegevoerde spanning u:



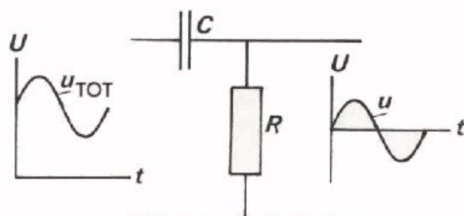


Het nut van de *serie*schakeling van een R en een C is, dat men gelijk- en wissel*spanning* kan scheiden, mits:

$$\frac{1}{\omega C} << R:$$

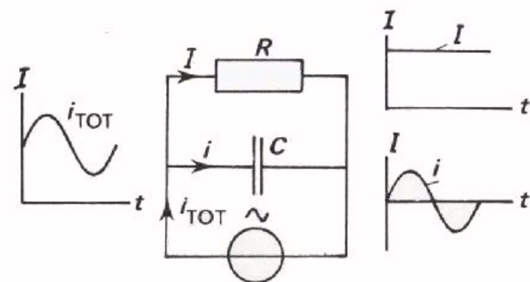


Toepassing:
Omzetting pulserende gelijkspanning in wisselspanning.

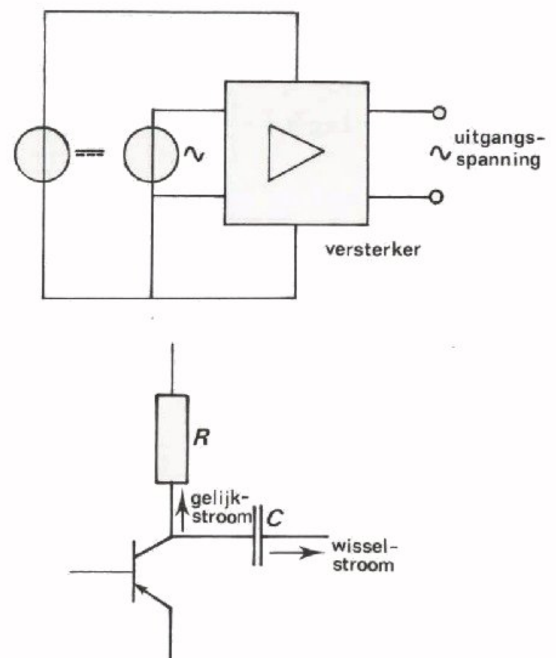


Het nut van de *parallel*schakeling van een R en een C is, dat men gelijk- en wissel*stroom* kan scheiden, mits:

$$\frac{1}{\omega C} << R:$$



Toepassing:
Het scheiden van de voedende gelijkstroom van de wisselende signaalstroom in een versterker.

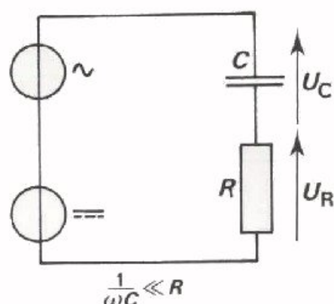


NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

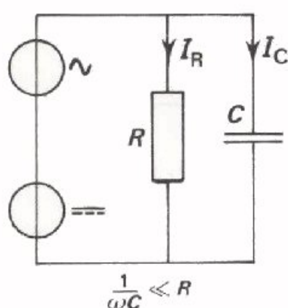
1.



U_C is: een zuivere gelijkspanning O
een bijna zuivere gelijkspanning O
een zuivere wisselspanning O
een bijna zuivere wisselspanning O

U_R is: een zuivere gelijkspanning O
een bijna zuivere gelijkspanning O
een zuivere wisselspanning O
een bijna zuivere wisselspanning O

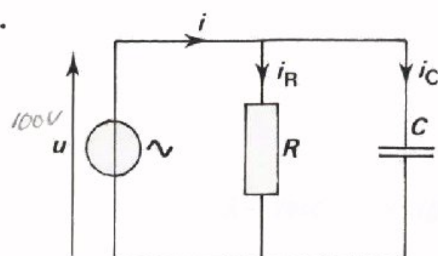
2.



I_R is: een zuivere gelijkstroom O
een bijna zuivere gelijkstroom O
een zuivere wisselstroom O
een bijna zuivere wisselstroom O

I_C is: een zuivere gelijkstroom O
een bijna zuivere gelijkstroom O
een zuivere wisselstroom O
een bijna zuivere wisselstroom O

3.



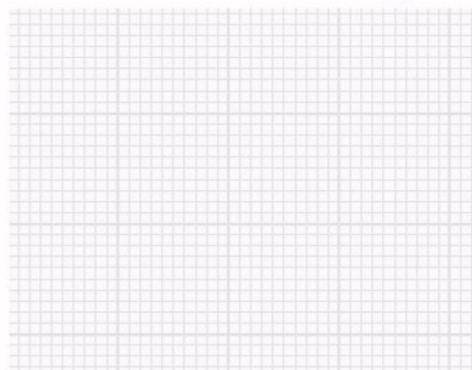
Gegeven: U_t = 100 V
R = 10 kΩ
X = 10 kΩ.

Gevraagd:

- Bereken I_{Rt} en I_{Ct} I_{Rt} = [mA]
I_{Ct} = [mA]

- Teken hiernaast het vectordiagram van u, i_R, i_C en i

Houd aan: 20 V = 1 cm
2 mA = 1 cm



- Bereken I_t I_t = [mA]

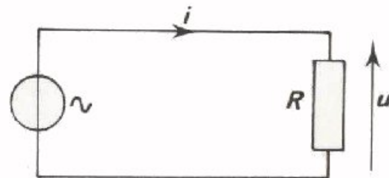
- Hoe groot is de hoek van faseverschuiving φ tussen i en u?

φ = [ ]

- Bereken $Z = \frac{u}{i}$ Z = [kΩ]

A 39 WISSELSTROOMVERMOGEN

VERMOGEN BIJ WISSELSTROOM DOOR EEN WEERSTAND



Een weerstand R wordt aangesloten op een wisselspanningsbron. De wisselspanningsbron levert aan de weerstand R een vermogen:

$$P_R = I_{eff} \cdot U_{eff} = R.I^2_{eff} = \frac{U^2_{eff}}{R}$$

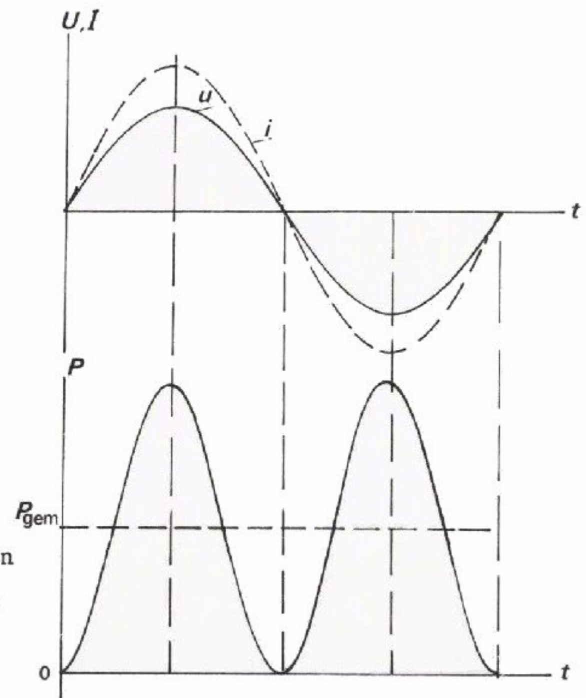
Aangezien: $I_{eff} = \frac{I_t}{\sqrt{2}}$ en $U_{eff} = \frac{U_t}{\sqrt{2}}$ kunnen we dit ook schrijven als:

$$P_R = \tfrac{1}{2}\, I_t . U_t = \tfrac{1}{2}\, R.I_t^2 = \tfrac{1}{2}\, \frac{U_t^2}{R}.$$

Dit alles is niet nieuw. We hebben het al uitvoerig behandeld in les A31.

We gaan dit ook eens bekijken aan de hand van de grafiek van de momentele waarde van de spanning over en de stroom door de weerstand R.

In deze figuur is het verloop van de momentele waarde van een sinusvormige wisselspanning *u* over een weerstand *R* gegeven.
In dezelfde figuur is ook het verloop van de momentele waarde van de stroom *i* door die weerstand gegeven.
Het momentele vermogen dat aan de weerstand geleverd wordt is op ieder moment gelijk aan:
$p = i.u$
Op momenten dat *u* en *i* gelijk zijn aan nul is het momentele vermogen ook nul.
u en *i* zijn op dezelfde momenten maximaal en op die momenten is ook het geleverd momentele vermogen maximaal.

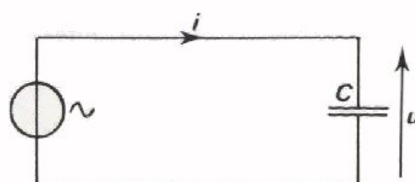


Door voor een periode het produkt van *u* en *i* uit te zetten verkrijgt men de tweede grafiek, waarbij *p* dus tegen *t* staat uitgezet.

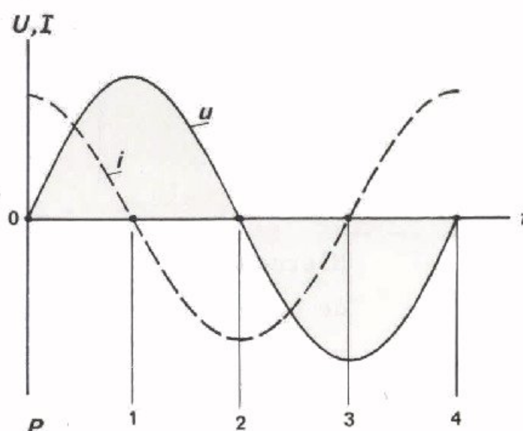
In de eerste halve periode zijn *u* en *i* beide positief. Het produkt $p = u.i$ is dus ook positief. In de tweede halve periode zijn *u* en *i* beide negatief. Het produkt $p = u.i$ is dan weer positief. In de grafiek is het verloop van het momentele vermogen in de tweede halve periode volkomen gelijk aan dat in de eerste halve periode. Dit is ook logisch, want het maakt voor het ontwikkelde vermogen geen verschil of spanning en stroom in de ene of in de andere richting werkzaam zijn.

VERMOGEN BIJ WISSELSTROOM DOOR EEN CONDENSATOR

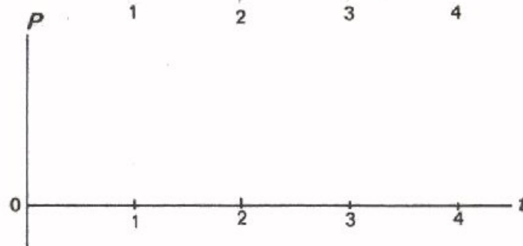
Een condensator C wordt aangesloten op een sinusvormige wisselspanningsbron. We gaan bekijken hoe groot het gemiddelde vermogen is dat aan de condensator wordt geleverd.



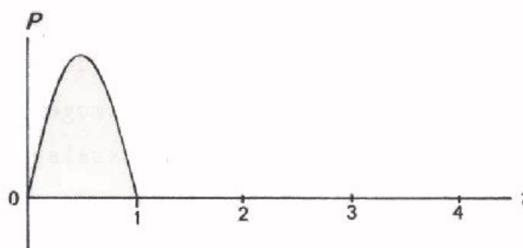
Als uitgangspunt nemen we weer de grafiek van de spanning over de condensator en de stroom door de condensator. Hiernaast is deze grafiek getekend. Spanning en stroom verlopen sinusvormig en de stroom ijlt - zoals bekend - 90^0 voor op de spanning.



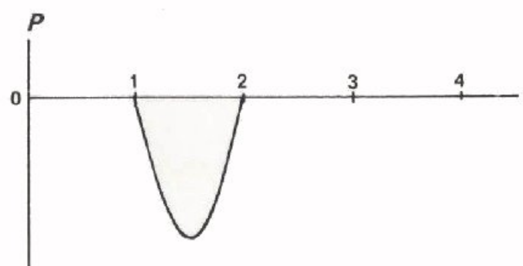
Het wisselstroomvermogen is op ieder moment gelijk aan $u.i$. Op de tijdstippen 0, 1, 2, 3 en 4 in de grafiek is of de spanning of de stroom nul. Op deze tijdstippen is dus het momentele vermogen $p = u.i = 0$, zie hiernaast.



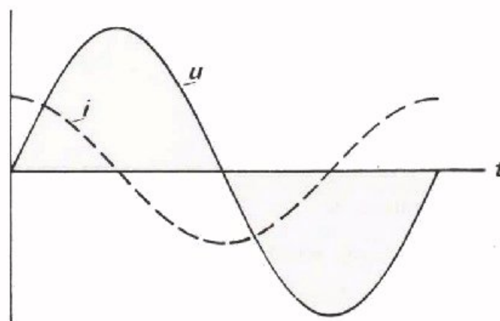
Bekijken we nu de eerste kwart periode,dan zien we in de grafiek,dat zowel de spanning als de stroom positief zijn. Het vermogen is dus ook positief en het verloopt in deze eerste kwart periode,zoals hiernaast aangegeven.



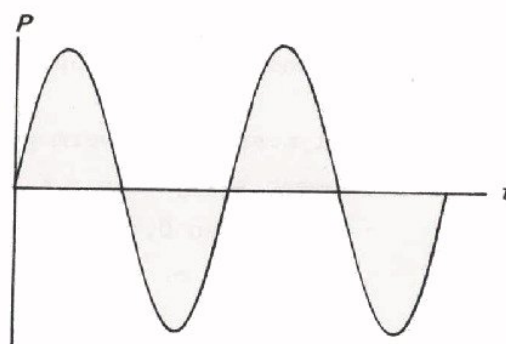
In de tweede kwart periode - tussen de tijdstippen 1 en 2 - is de spanning over de condensator nog steeds positief, maar de stroom is nu negatief. Dit betekent, dat het produkt $u.i$ nu negatief is.
In deze kwart periode verloopt $p = u.i$ dus zoals hiernaast is weergegeven.



In de derde kwart periode zijn spanning en stroom beide negatief. Het vermogen is dus positief. U kunt nu eenvoudig nagaan,dat het vermogen in de vierde kwart periode weer negatief zal zijn.



Hiernaast is nogmaals de grafiek van de momentele waarde van de sinusvormige wisselspanning en -stroom bij een condensator gegeven. Daaronder is het volledige verloop van de momentele waarde van het wisselstroomvermogen bij een condensator gegeven.

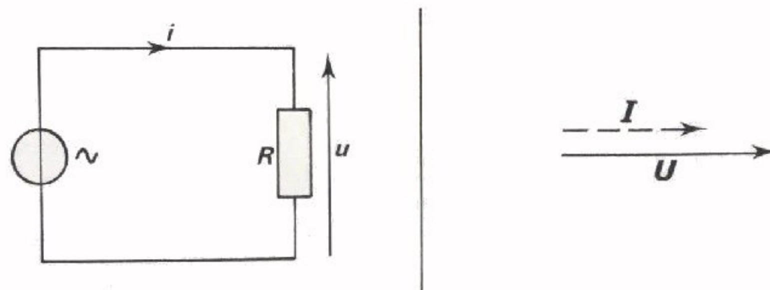


U kunt zich nu afvragen wat de betekenis is van een negatief vermogen. Dit is een vermogen dat afgegeven wordt. Blijkbaar is het bij een condensator zo, dat tijdens het laden vermogen aan de condensator geleverd wordt, maar dat dit vermogen tijdens het ontladen weer afgegeven of teruggeleverd wordt aan de wisselspanningsbron. In de eerste kwart periode ontvangt de condensator energie, in de tweede kwart periode geeft hij deze energie weer terug aan de generator, enz.
Gemiddeld genomen wordt er door een condensator geen wisselstroomvermogen opgenomen en levert de generator geen vermogen aan de condensator.

Gemiddeld vermogen bij een condensator:

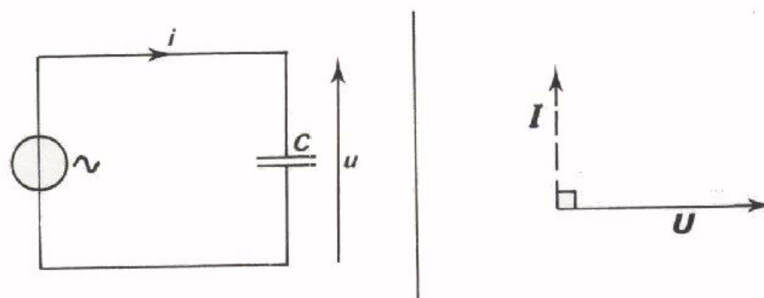
$$P_{C(gem)} = 0$$

OVERZICHT



Bij een weerstand zijn u en i in fase. Het opgenomen vermogen bedraagt:

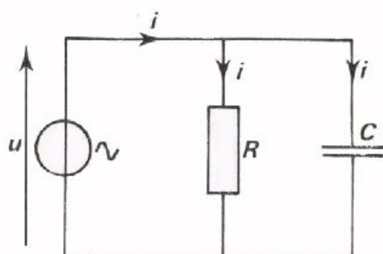
$$P_R = I_{eff} \cdot U_{eff} = R.I^2_{eff} = \frac{U^2_{eff}}{R}$$

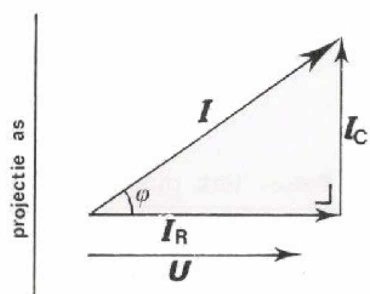


Bij een condensator zijn u en i 90^0 in fase verschoven. Dit betekent dat het gemiddelde opgenomen vermogen is:

$$P_{C(gem)} = 0$$

VERMOGEN BIJ EEN WISSELSPANNING OP EEN PARALLELSCHAKELING VAN R EN C





Hoe groot is het vermogen dat aan een parallelschakeling van een R en een C wordt toegevoerd?

We hebben gezien dat een condensator gemiddeld geen vermogen opneemt. In nevenstaande schakeling wordt dus alleen vermogen toegevoerd aan de weerstand. Dit vermogen is gelijk aan:

$$P = U_{eff} \cdot I_{R(eff)}$$

Uit het vectordiagram blijkt:

$$\frac{\boldsymbol{I}_R}{\boldsymbol{I}} = \cos \varphi$$

of $\boldsymbol{I}_R = \boldsymbol{I} . \cos \varphi$

Dan is ook:

$$I_{R(eff)} = I_{eff} \cdot \cos$$

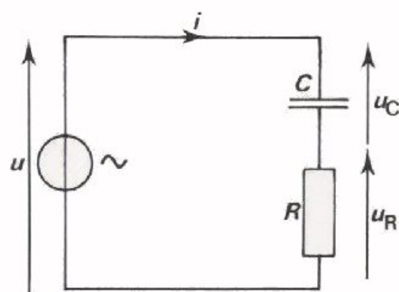
Voor het vermogen kunnen we dus schrijven:

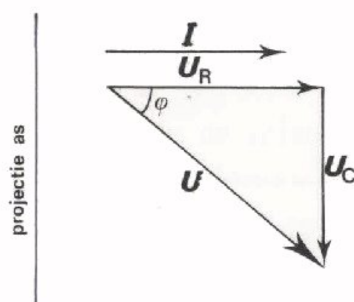
$$P = U_{eff} \cdot (I_{R(eff)}) = U_{eff} \cdot (I_{eff} \cdot \cos \quad)$$

$$\boxed{P = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \varphi}$$

Het vermogen dat aan een parallelschakeling van een R en een C wordt toegevoerd is dus gelijk aan het product van de effectieve waarden van de spanning en de totale stroom in de schakeling en de cosinus van de fasehoek tussen deze twee.

VERMOGEN BIJ EEN WISSELSTROOM DOOR EEN SERIESCHAKELING VAN R EN C





Als u het vorig blad goed hebt begrepen dan is het volgende zeer eenvoudig. De redenering is n.l. soortgelijk.

Ook in deze schakeling wordt alleen aan de weerstand vermogen toegevoerd; het door de condensator opgenomen vermogen is immers gemiddeld nul. De schakeling neemt dus een vermogen op:

$$P = I_{eff} \cdot U_{R(eff)}$$

Uit het bijbehorende vectordiagram volgt onmiddellijk:

$$\frac{\boldsymbol{U}_R}{\boldsymbol{U}} = \cos \varphi$$

of $\boldsymbol{U}_R = \boldsymbol{U} . \cos \varphi$

Dan is ook:

$$U_{R(eff)} = U_{eff} \cdot \cos \varphi$$

Het vermogen is dus:

$$P = I_{eff} \cdot U_{R(eff)} = I_{eff} \cdot U_{eff} \cdot \cos \varphi$$

$$\boxed{P = I_{eff} \cdot U_{eff} \cdot \cos \varphi}$$

We krijgen dus voor het vermogen bij deze serieschakeling precies dezelfde formule als bij de parallelschakeling van R en C. Later zal blijken dat voor elke wisselstroomschakeling - hoe ingewikkeld ook - steeds geldt, dat:

> het opgenomen vermogen gelijk is aan het produkt van de effectieve waarden van de spanning en de stroom door die schakeling, vermenigvuldigd met de cosinus van de fasehoek tussen deze stroom en spanning.

ENIGE OPMERKINGEN

De formule voor het opgenomen vermogen:

$$P = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos\varphi$$

gaat ook op voor een weerstand. Dan zijn stroom en spanning immers in fase. Dit betekent $\varphi = 0$, dus $\cos\varphi = 1$. We vinden dan de formule voor het in een weerstand ontwikkelde wisselstroomvermogen terug:

$$P_R = U_{eff} \cdot I_{eff}$$

De formule gaat ook op voor een condensator. Bij een condensator is immers $\varphi = 90^0$, dus $\cos\varphi = 0$. We vinden dan:

$$P_C = 0.$$

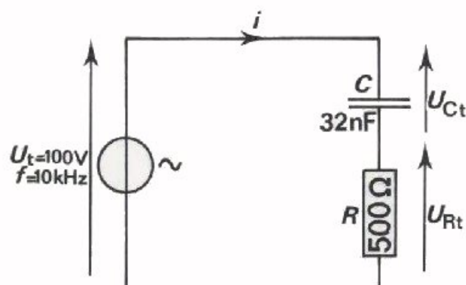
Als aan een schakeling wisselspanning en -stroom worden toegevoerd is het voor het bepalen van het toegevoerde wisselstroomvermogen niet voldoende om U_{eff} en I_{eff} te meten.

Men zal ook nog de hoek van faseverschuiving φ moeten meten om het vermogen te kunnen berekenen.

De beschouwingen omtrent het wisselstroomvermogen in deze les hebben uitsluitend betrekking op *sinusvormige* stromen en spanningen met *één* frequentie. Zij gelden niet voor niet-sinusvormige wisselstromen en -spanningen. Zij gelden ook niet als er sprake is van wisselstromen en -spanningen met verschillende frequenties, die tegelijkertijd in een schakeling optreden.

OEFENING

We willen het aan onderstaande schakeling toegevoerde wisselstroomvermogen berekenen.



We moeten dan eerst volledig inzicht in de schakeling krijgen. Daartoe gaan we het vectordiagram tekenen.

- De reactantie van de C is:

  $X =$ [Ω]

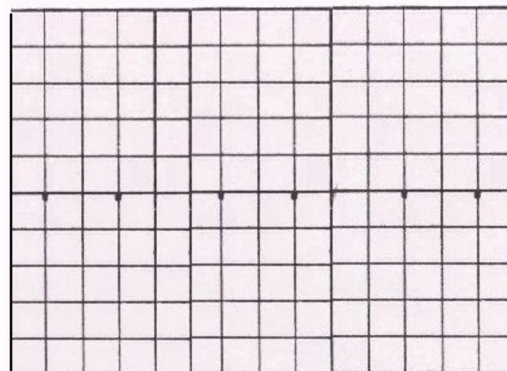
- De spanning U_{Rt} is:

  $U_{Rt} = R.I_t =$ [ ]

- De spanning over de condensator is: $U_{Ct} = X.I_t =$ [ ]

- De verhouding van U_{Rt} en U_{Ct} is: $\frac{U_{Rt}}{U_{Ct}} =$ [ ]

- Teken nu op schaal hiernaast het vectordiagram voor deze schakeling.
  Geef de hoek van faseverschuiving tussen u en i aan.



- De hoek $\varphi =$ [ ]

  Dus: $\cos \varphi =$ [ ]

- De impedantie $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{\quad} \approx$ [Ω]

- Nu kunnen we I_t berekenen uit:

  $I_t = \frac{U_t}{Z} = \frac{\quad}{\quad} \approx$ [A]

- Het aan de schakeling toegevoerde wisselstroomvermogen is dan:

  $P = \frac{1}{2}\ U_t . I_t . \cos \varphi = \frac{1}{2}$ $=$ [W]

- Men kan ook stellen dat het toegevoerde wisselstroomvermogen gelijk is aan:

  $P = \frac{1}{2}\ I_t^2\ R \approx \frac{1}{2}\ . \frac{0{,}02 \times 500}{\quad} \approx$ [W]

R² + X²

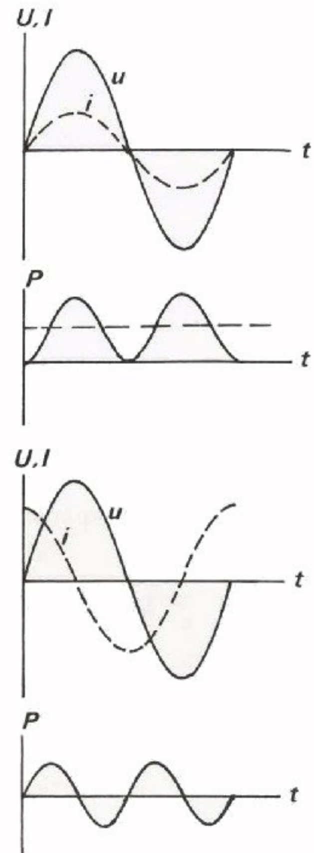
SAMENVATTING

- In een weerstand R wordt gemiddeld een vermogen ontwikkeld:

$$P_R = I_{eff} \cdot U_{eff} = R \cdot I^2_{eff} = \frac{U^2_{eff}}{R}$$

of:

$$P_R = \tfrac{1}{2}\, I_t \cdot U_t = \tfrac{1}{2}\, R \cdot I^2_t = \tfrac{1}{2}\, \frac{U^2_t}{R}.$$



- In een condensator C wordt gemiddeld *geen* vermogen ontwikkeld.

$$P_{C(gem)} = 0.$$

Dit wordt veroorzaakt doordat stroom en spanning bij een condensator 90^0 in fase verschillen. Per periode wordt evenveel energie aan de condensator geleverd als van de condensator teruggevoerd.

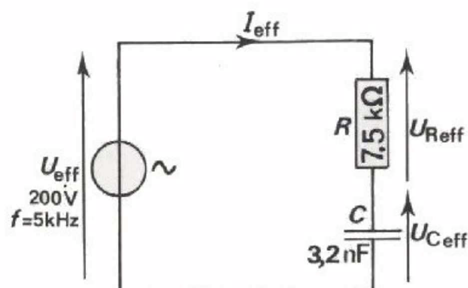
- Bij een serie- zowel als bij een parallelschakeling van een C en een R wordt een vermogen toegevoerd gelijk aan:

$$\boxed{P = I_{eff} \cdot U_{eff} \cdot \cos \varphi}$$

Hierin stelt φ de hoek van faseverschuiving voor tussen de aan de schakeling toegevoerde spanning en stroom. Deze formule geldt alleen bij sinusvormige stromen en spanningen.

NAAM: KLAS:

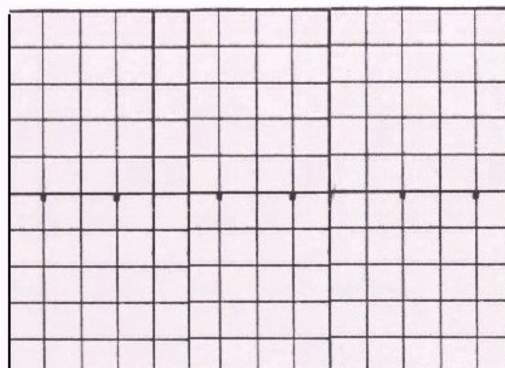
OEFENING



Gevraagd te berekenen hoe groot het wisselstroomvermogen is,dat aan deze schakeling wordt toegevoerd.

- Bereken de reactantie X van de condensator. X = ______ kΩ

- Teken hiernaast op schaal het vectordiagram van deze schakeling.



- Bereken $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

  $= \sqrt{7{,}5^2 + 10^2}$

  = ______ kΩ

- Bepaal door opmeting in het vectordiagram:

  cos φ = ______

- Bereken: $I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z}$ = ______ A of I_{eff} = ______ mA

- Bereken tenslotten het toegevoerde vermogen:

  $P = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos\varphi$ = ______

of ook:

$P = I^2_{eff} . R$ = ______ W

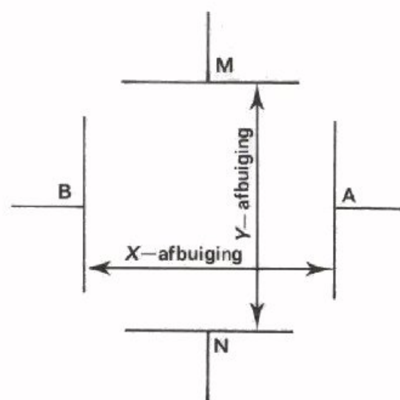
A39.12

F I G U R E N   V A N   L I S S A J O U S

HET NORMALE GEBRUIK VAN EEN OSCILLOSCOOP

Bij normaal gebruik van een oscilloscoop verkrijgt men op het scherm een grafiek van de te onderzoeken spanning tegen de tijd. In les A25 hebben we het principe van de werking van de oscilloscoop besproken. We zullen dit gedeeltelijk herhalen en er wat dieper op in gaan.

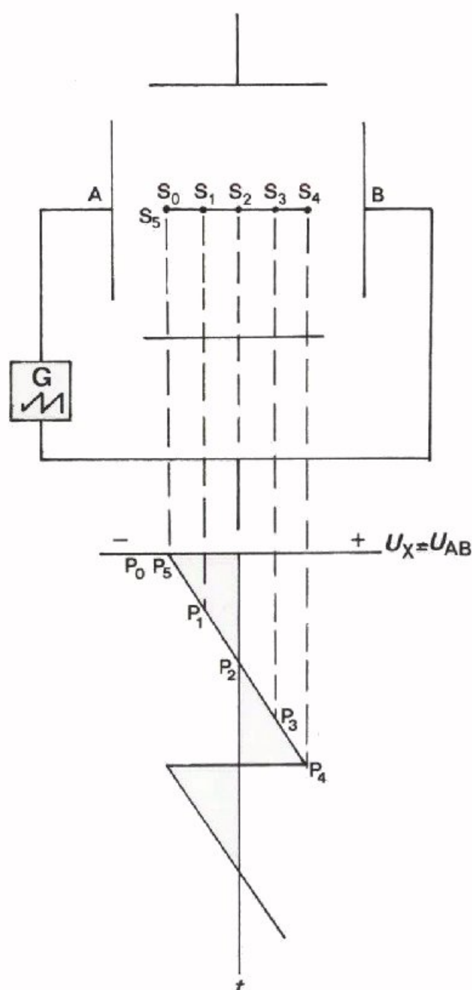
In de elektronenstraalbuis bevinden zich twee stel afbuigplaten. Twee voor de afbuiging van de elektronenstraal in horizontale richting (A en B) en twee voor de verticale afbuiging (M en N).



Hiernaast zijn deze vier platen schematisch weergegeven zoals men ze door het scherm kijkend zou zien zitten. Maakt men A positief t.o.v. B, dan wordt de negatieve elektronenstraal naar rechts getrokken. Maakt men M positief t.o.v. N, dan wordt de elektronenstraal naar boven afgebogen.

De platen A en B veroorzaken een afbuiging in horizontale richting. In grafieken noemt men de horizontale richting altijd de *X*-richting. Deze platen noemt men dan ook de platen voor de *X*-afbuiging of *X-deflectie*. Om dezelfde reden noemt men de andere platen die voor de *Y-deflectie*.

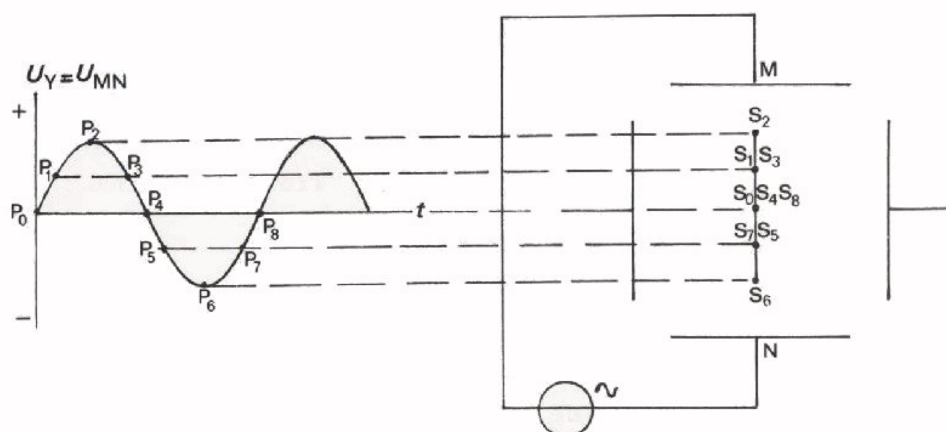
Bij normaal gebruik van de oscilloscoop wordt aan de platen A en B een zaagtandspanning toegevoerd. De elektronenstraal loopt daardoor geleidelijk aan van links naar rechts en vervolgens zeer snel terug naar links.



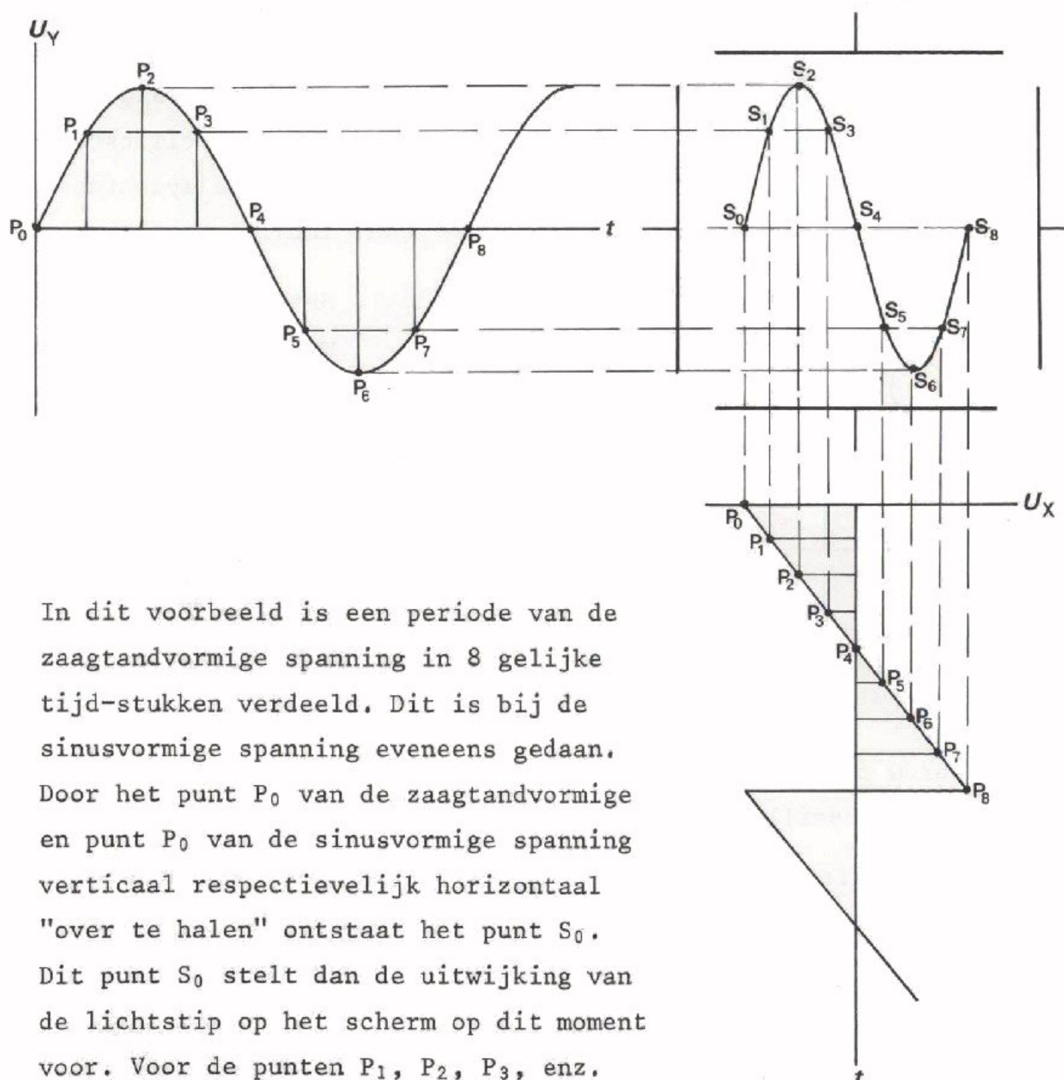
Daarna begint het spel opnieuw. We kunnen dit goed duidelijk maken door de grafiek van deze zaagtandspanning *onder* deze afbuigplaten te tekenen met de tijd-as verticaal.

Als de zaagtandspanning een momentele waarde heeft,die overeenkomt met een punt P in de grafiek, dan kunnen we, door dit punt verticaal naar boven te brengen,een punt S vinden,waar de de elektronenstraal zich zal bevinden. Zo behoort bij punt P_0 van de grafiek punt S_0 op het scherm. Bij punt P_1 behoort punt S_1, enz.

Stel,dat we aan het andere stel platen een sinusvormige wisselspanning toevoeren. Wat er dan met de afbuiging van de elektronenstraal in verticale richting gebeurt,is goed te zien door een grafiek van de spanning *naast* de platen te tekenen. Ga dit na in de figuur hieronder.

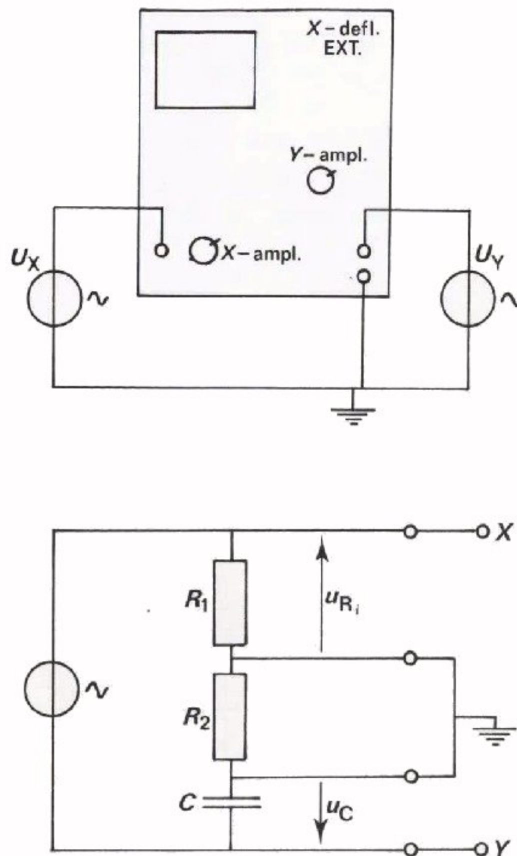


We hebben eerst alleen een zaagtandspanning u_x op de platen voor de horizontale afbuiging gezet. Daarna hebben we alleen een sinusvormige spanning u_y op de platen voor de verticale afbuiging gezet.
In beide gevallen werd er een rechte lijn op het scherm geschreven.
Hoe deze lijn werd doorlopen zijn we aan de hand van eenvoudige constructies nagegaan.
Voeren we nu de spanningen tegelijkertijd aan de oscilloscoop toe, dan kan men de figuur, die op het scherm geschreven wordt, eveneens construeren.
In de figuur hieronder is dit gedaan.



In dit voorbeeld is een periode van de zaagtandvormige spanning in 8 gelijke tijd-stukken verdeeld. Dit is bij de sinusvormige spanning eveneens gedaan. Door het punt P_0 van de zaagtandvormige en punt P_0 van de sinusvormige spanning verticaal respectievelijk horizontaal "over te halen" ontstaat het punt S_0. Dit punt S_0 stelt dan de uitwijking van de lichtstip op het scherm op dit moment voor. Voor de punten P_1, P_2, P_3, enz. kan men hetzelfde doen. We zien zo door combinatie van een sinusvormige *Y*-spanning en een zaagtandvormige *X*-spanning op het scherm een sinusvormige spanning ontstaan.

HET VERGELIJKEN VAN TWEE SINUSVORMIGE WISSELSPANNINGEN



Bij normaal gebruik van een oscilloscoop wordt aan de *X*-platen vanuit het inwendige een *interne* zaagtandspanning toegevoerd. Men kan echter ook van buitenaf een *externe* wisselspanning u_x aan deze platen toevoeren. We krijgen dan de hiernaast geschetste toestand, waarbij zowel op de *X*-ingang als op de *Y*-ingang van de oscilloscoop een externe wisselspanning is aangesloten.

Het is van belang hierbij op te merken, dat de *X*- en de *Y*-ingang altijd een gemeenschappelijke kant hebben, de aardzijde. Daardoor is het b.v. niet mogelijk de spanningen u_{R1} en u_C uit nevenstaande schakelingen aan de *X*- en *Y*-ingang van een oscilloscoop toe te voeren. Dan wordt R_2 immers kortgesloten.

Waarom zou men een wisselspanning aan de *X*-ingang en een aan de *Y*-ingang van een oscilloscoop aansluiten? Wat is het nut daarvan?

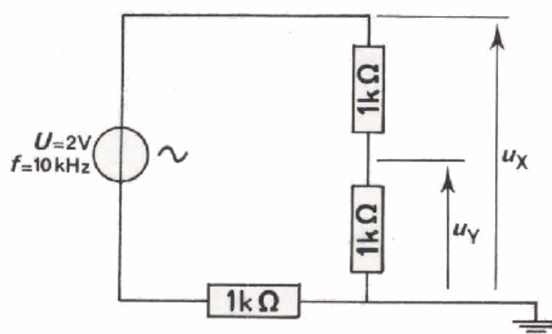
> Als we met twee spanningen van gelijke frequentie te doen hebben verschijnt er op het scherm een figuur die iets zegt over de hoek van faseverschuiving   van deze spanningen.
>
> Als we twee spanningen met verschillende frequenties aansluiten ontstaat er op het scherm een figuur die iets zegt over de verhouding van deze frequenties.

Op de volgende bladen gaan we dit nader bekijken.

TWEE SPANNINGEN MET GELIJKE FREQUENTIE OP DE OSCILLOSCOOP

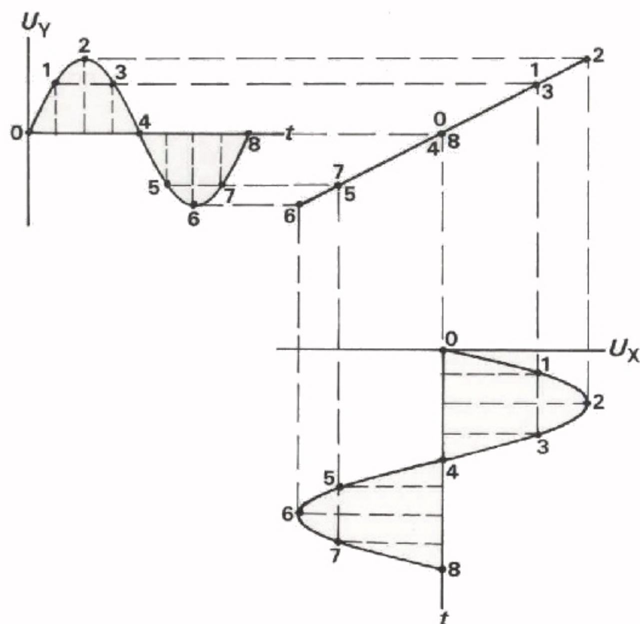
● u_x en u_y zijn in fase

In deze schakeling hebben de spanningen u_x en u_y dezelfde frequentie en bovendien zijn zij *in fase*. Voeren we u_x en u_y toe aan de *X*- en de *Y*-ingang van een oscilloscoop dan ontstaat het beeld dat hieronder is geconstrueerd.

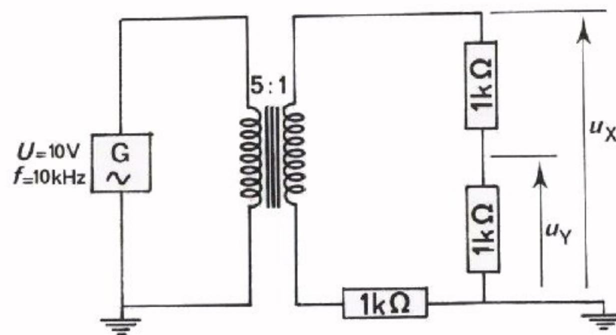


In de figuur ziet u dat één periode van de beide sinussen in 8 stukken verdeeld is. De punten zijn met overeenkomstige cijfers aangegeven.

Het resultaat van de constructie is een *rechte lijn* die van links onder naar rechts boven loopt.

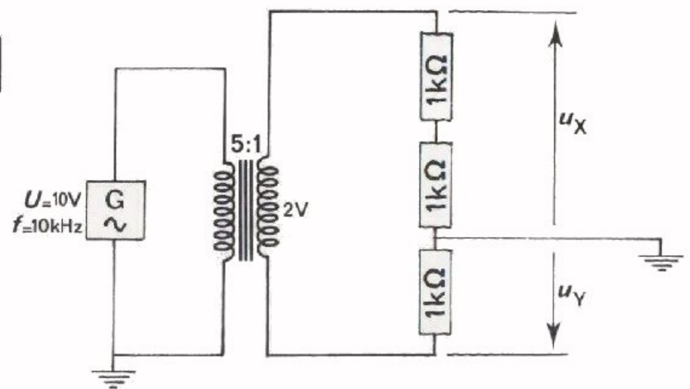


OPDRACHT

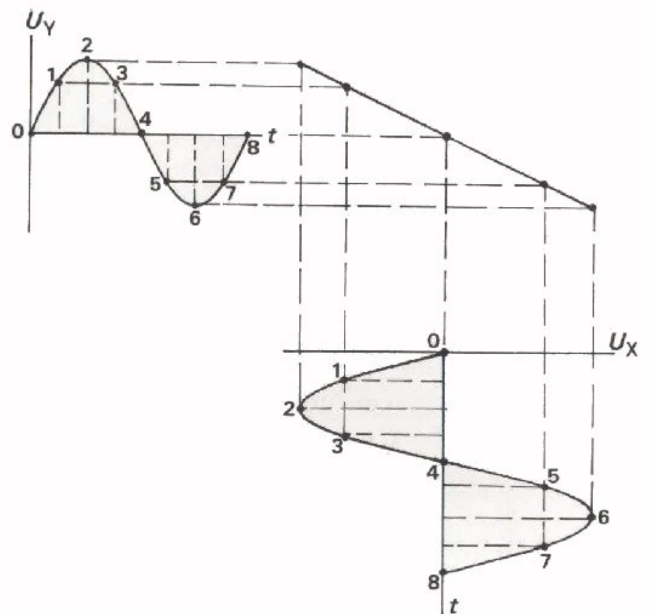


- Bouw bovenstaande schakeling.
- Voer u_x en u_y toe aan de oscilloscoop zoals op het vorige blad is geschetst
- Regel de *X*-amplitude en de *Y*-amplitude zo, dat de figuur juist binnen het scherm blijft.
- U ziet dat de twee wisselspanningen van gelijke frequentie, die *in fase* zijn, op het scherm inderdaad een *rechte lijn* geven.
- Breek de schakeling nog niet af.

● u_x en u_y zijn in tegenfase



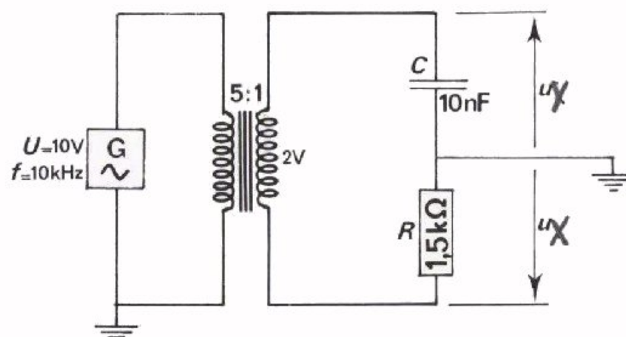
Hier is dezelfde schakeling als bij de vorige opdracht nogmaals weergegeven. Als spanning u_y wordt nu een andere spanning gekozen. Ga na dat u_x en u_y nu *in tegenfase* zijn.



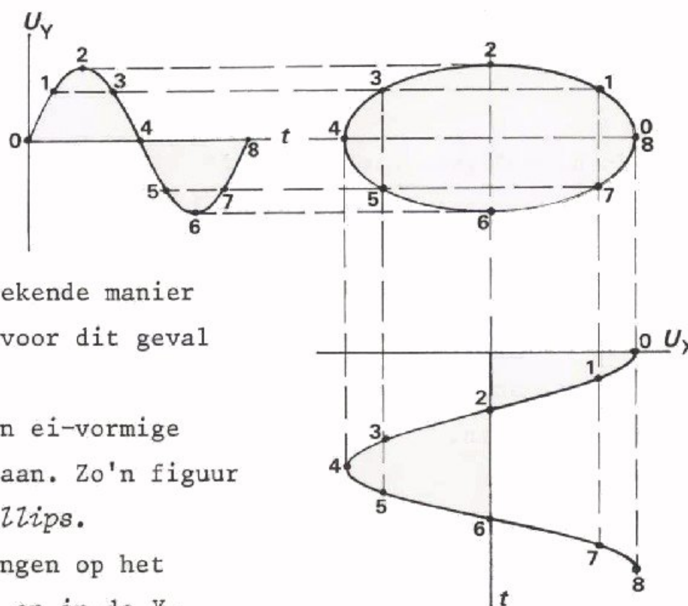
In deze figuur zien we weer een constructie van het beeld op het scherm.
Ook nu blijkt weer een *rechte lijn* te ontstaan, maar deze loopt van rechts onder naar links boven.

OPDRACHT
- Voer u_x en u_y uit bovenstaande schakeling weer toe aan de oscilloscoop.
- Zorg ervoor dat de figuur juist binnen het scherm blijft.
- U ziet dat deze twee wisselspanningen van gelijke frequentie,die *in tegenfase* zijn,inderdaad de bedoelde *rechte lijn* op het scherm geven.
- Breek de schakeling nog niet af.

● u_x en u_y zijn 90^0 in fase verschoven



In deze schakeling is u_y in fase met i, maar u_x is 90^0 in fase verschoven t.o.v. i. Tussen de spanningen u_x en u_y bestaat dus een faseverschil van 90^0. De vraag is weer hoe het beeld op het scherm van een oscilloscoop eruit ziet als u_x en u_y op de beide ingangen gezet worden.

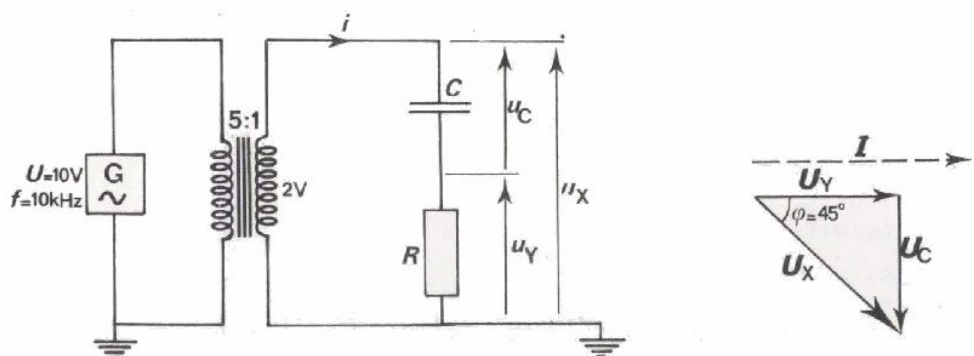


Hier is op de bekende manier een contructie voor dit geval uitgevoerd.
Er blijkt nu een ei-vormige figuur te ontstaan. Zo'n figuur noemen we een *ellips*.
Als de uitwijkingen op het scherm in de *X*- en in de *Y*-richting toevallig gelijk zijn wordt deze ellips een *cirkel*.

OPDRACHT

- Bouw bovenstaande schakeling.
- Voer u_x en u_y toe aan de oscilloscoop en zorg ervoor dat de ontstane figuur juist binnen het scherm blijft.
- U ziet dat deze twee wisselspanningen die 90^0 *in fase verschoven* zijn een *ellips* geven.
- Regel met de "*X-ampl*" zó, dat deze ellips een cirkel wordt.
- Breek de schakeling nog niet af.

● u_x en u_y zijn minder dan 90° in fase verschoven

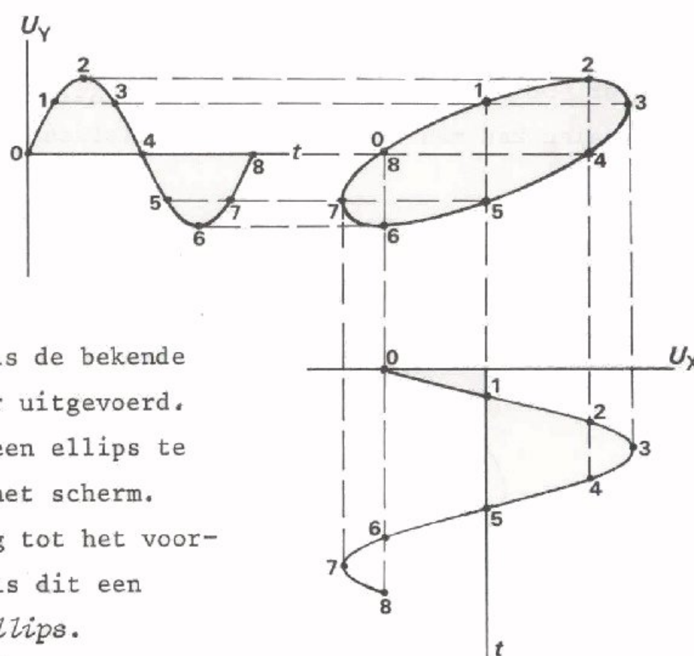


De reactantie van de condensator in deze schakeling is:

$$\frac{1}{2\pi fC} = \frac{10^9}{2\ \pi\ 10^4 . 10} \approx 1500\ \Omega$$

Deze is dus gelijk aan de weerstand R.

u_y, die in fase is met i, zal dus 45° voorijlen op u_x (zie vectordiagram)



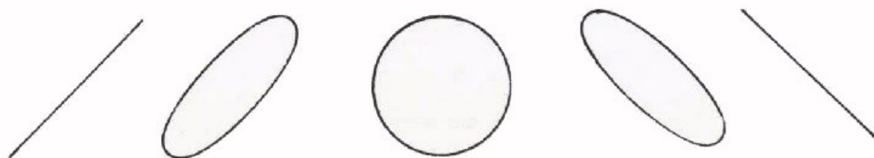
Voor dit geval is de bekende constructie weer uitgevoerd. Er blijkt weer een ellips te verschijnen op het scherm. In tegenstelling tot het voorafgaande geval is dit een *scheefstaande ellips*.

OPDRACHT

- Voer de spanningen u_x en u_y van bovenstaande schakeling weer toe aan de oscilloscoop.
- Zorg ervoor dat de gehele figuur juist binnen het scherm blijft.
- U ziet, dat deze twee wisselspanningen die 45° *in fase verschoven* zijn inderdaad een *scheefstaande ellips* geven.
- Breek de schakeling af, maar schakel de oscilloscoop en de generator nog niet uit.

OPDRACHT: "TWEE SPANNINGEN VAN BIJNA GELIJKE FREQUENTIE OP DE OSCILLOSCOOP"

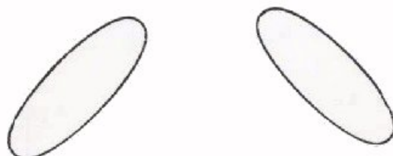
- Voer aan de *X*-ingang van de oscilloscoop een sinusvormige wisselspanning toe van 1 kHz.
- Voer aan de *Y*-ingang eveneens een sinusvormige wisselspanning toe vanuit een andere generator.
- Maak de uitwijkingen in de *X*- en in de *Y*-richting op het scherm precies gelijk.
- Regel een van de frequenties bij, totdat u op het scherm een reeks figuurtjes ziet verschijnen, die als volgt geleidelijk in elkaar overgaan.

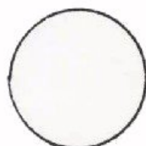


Zolang de figuurtjes nog aan het veranderen zijn is de frequentie van u_x niet geheel gelijk aan die van u_y.

Door voorzichtig aan de frequentieregelaar van een van de generatoren te draaien kan men een (nagenoeg) stilstaand beeld krijgen.

Zien we:  , dan zijn u_x en u_y in fase.

Zien we:  , dan zijn u_x en u_y in fase verschoven, waarbij φ *niet* 90^0 of 180^0 is.

Zien we:  , dan is $\varphi = 90^0$.

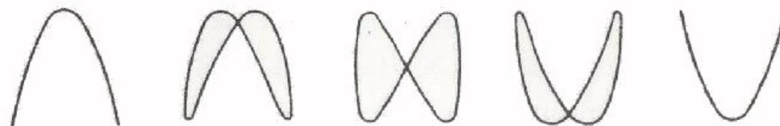
Zien we:  , dan is $\varphi = 180^0$, u_x en u_y zijn in tegenfase.

HET VERGELIJKEN VAN FREQUENTIES

OPDRACHT: "TWEE SPANNINGEN MET EEN FREQUENTIEVERHOUDING 1 : 2 OP DE OSCILLOSCOOP"

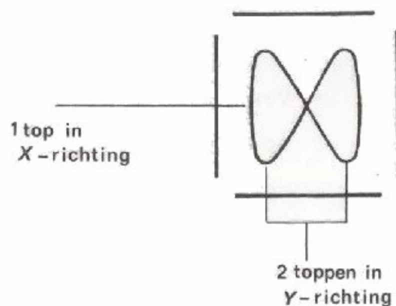
- Voer aan de *X*-ingang van de oscilloscoop een spanning toe met een frequentie van 1 kHz.
- Voer vanuit een andere generator een spanning met een frequentie van 2 kHz toe aan de *Y*-ingang van de oscilloscoop. Maak de uitwijkingen op het scherm gelijk.

U zult nu op het scherm de volgende reeks figuurtjes zien verschijnen.



Zolang het beeld op het scherm nog niet stil staat is de verhouding van de frequentie nog niet precies 1 : 2. Op het moment dat het beeld geheel stil staat is de frequentieverhouding precies 1 : 2.

Bekijken we het middelste figuurtje uit bovenstaande reeks nog eens.



Deze "liggende acht" ontstaat doordat in dezelfde tijd de elektronenstraal in de *X*-richting eenmaal, en in de *Y*-richting tweemaal heen en weer beweegt. In de *Y*-richting is de frequentie immers tweemaal zo hoog als in de *X*-richting. U kunt dit aan het figuurtje onmiddellijk zien, want in de *Y*-richting telt u twee toppen en in de *X*-richting maar een top.

Dit nu is een algemeen geldende vuistregel. Door tellen van de toppen kan men de frequentieverhouding van de spanningen u_x en u_y te weten komen.

OEFENING



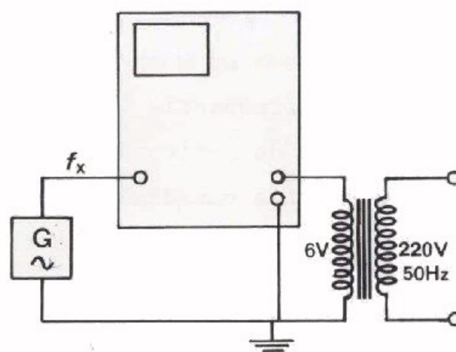
De frequentie van de spanning u_x is in dit geval 160 Hz. De frequentie van de spanning u_y is dan:

HET AFREGELEN VAN FREQUENTIES

Uit het voorafgaande is duidelijk, dat men uit de figuren, die op het scherm van een oscilloscoop ontstaan, conclusies kan trekken omtrent de verhouding van de frequenties van de spanningen op de *X*- en de *Y*-ingang.

Een toepassing vindt men bij het afregelen van de frequentie van een oscillator. Op de ene ingang van de oscilloscoop zet men een spanning met een frequentie, die gelijk is aan die, waarop men de oscillatorfrequentie wil instellen, de z.g. ijkfrequentie. Stel dat deze ijkfrequentie 800 Hz is. Men zet nu de spanning van de oscillator op de andere ingang van de oscilloscoop en regelt de oscillatorfrequentie zo, dat een van de figuurtjes van blad A40.10 ontstaat. Op dat moment is de oscillatorfrequentie precies gelijk aan 800 Hz. Het is ook mogelijk als ijkfrequentie b.v. 400 of 200 Hz te nemen. Daarbij moet men dan afregelen op een voor die frequentieverhouding juiste figuur.
We hebben gezien dat op het scherm van een oscilloscoop "fraaie" figuren ontstaan als men op elk stel platen een sinusvormige wisselspanning zet.
Bij "mooie" frequentieverhoudingen van deze spanningen zijn deze figuren vrij eenvoudig. We noemen deze figuren *figuren van Lissajous* spreek uit "Lis-sa-zjoe".

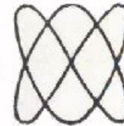
OPDRACHT: "HET AFREGELEN VAN EEN FREQUENTIE"



- Voer aan de oscilloscoop een spanning u_y toe van 6 V, afkomstig van een soldeertrafo, die op het net is aangesloten. De frequentie van het net is 50 Hz.
- Voer aan de oscilloscoop ook een spanning u_x toe, afkomstig van een L.F.-generator.

- Regel nu de frequentie van de generator zo, dat er een figuur van Lissajous ontstaat, waaruit blijkt dat deze frequentie 400 Hz is.
  U krijgt een figuur te zien met [ ] toppen
  in de [X / Y] richting, en een top in de andere richting.
- Controleer of de generator inderdaad op 400 Hz staat.

- Regel vervolgens de frequentie van de oscillator zo, dat nevenstaande figuur van Lissajous ontstaat.



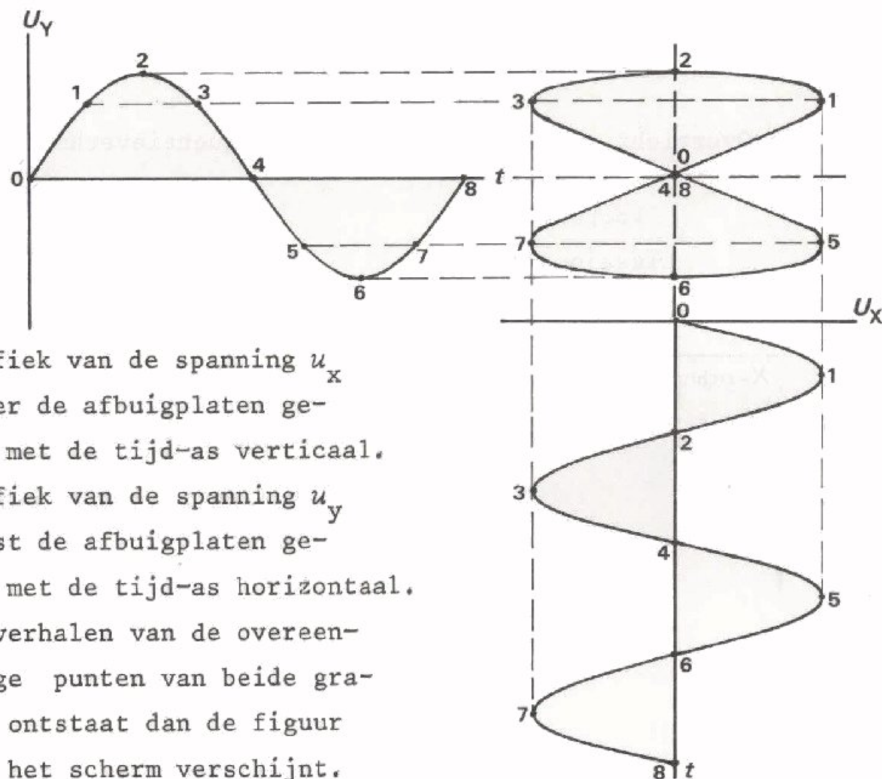
- Uit deze figuur volgt, dat de frequentie van de generator is:

f_x = [ ]

Controleer of de generator inderdaad op deze frequentie staat.

SAMENVATTING

- Als men twee wisselspanningen van buitenaf - *extern* - aan een oscilloscoop toevoert, dan ontstaat er op het scherm een figuur. Deze figuur laat zich op papier construeren zoals in volgend voorbeeld.

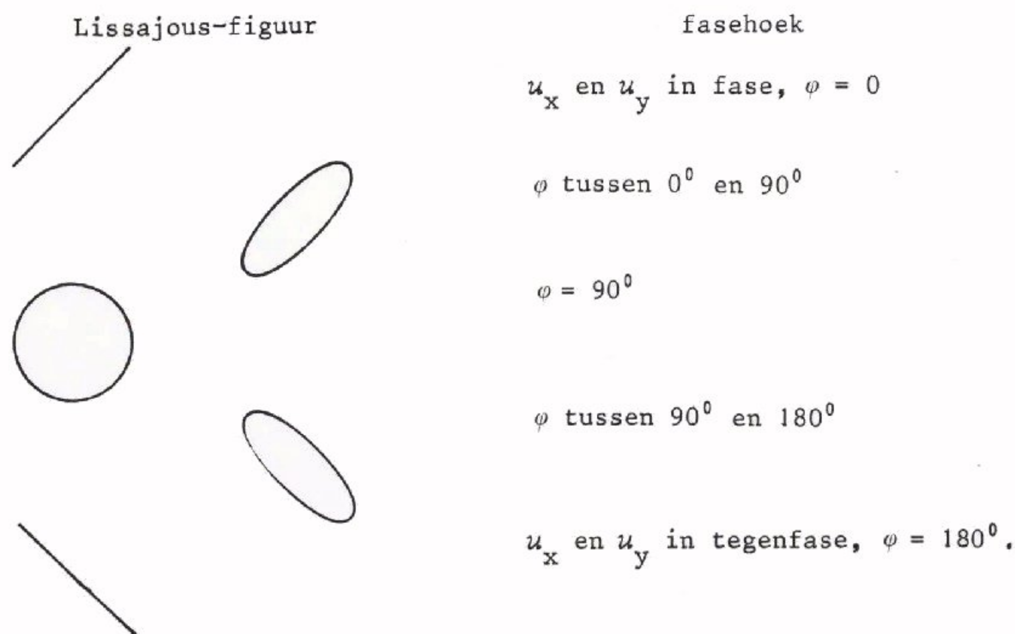


De grafiek van de spanning u_x is onder de afbuigplaten getekend met de tijd-as verticaal. De grafiek van de spanning u_y is naast de afbuigplaten getekend met de tijd-as horizontaal. Door overhalen van de overeenkomstige punten van beide grafieken ontstaat dan de figuur die op het scherm verschijnt.

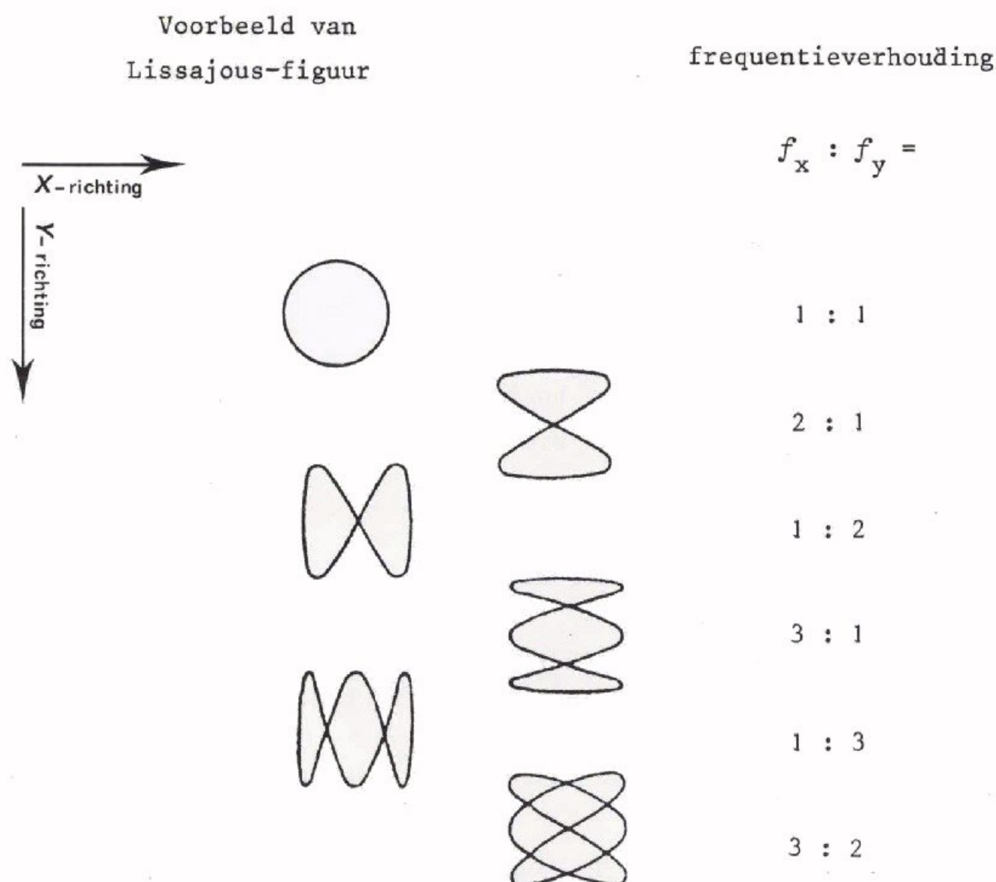
- Zijn u_x en u_y sinusvormige spanningen met een eenvoudige frequentieverhouding, dan noemt men het beeld op het scherm een *figuur van Lissajous*.

- Aan de hand van deze figuren van Lissajous kan men iets te weten komen omtrent:
  - de faseverschuiving van de beide spanningen u_x en u_y, als zij tenminste dezelfde frequentie hebben.
  - de frequentieverhouding van de spanningen u_x en u_y, als deze vrij eenvoudig is.

- Overzicht van de verschillende fase-mogelijkheden:



- Overzicht van enige eenvoudige frequentieverhoudingen:

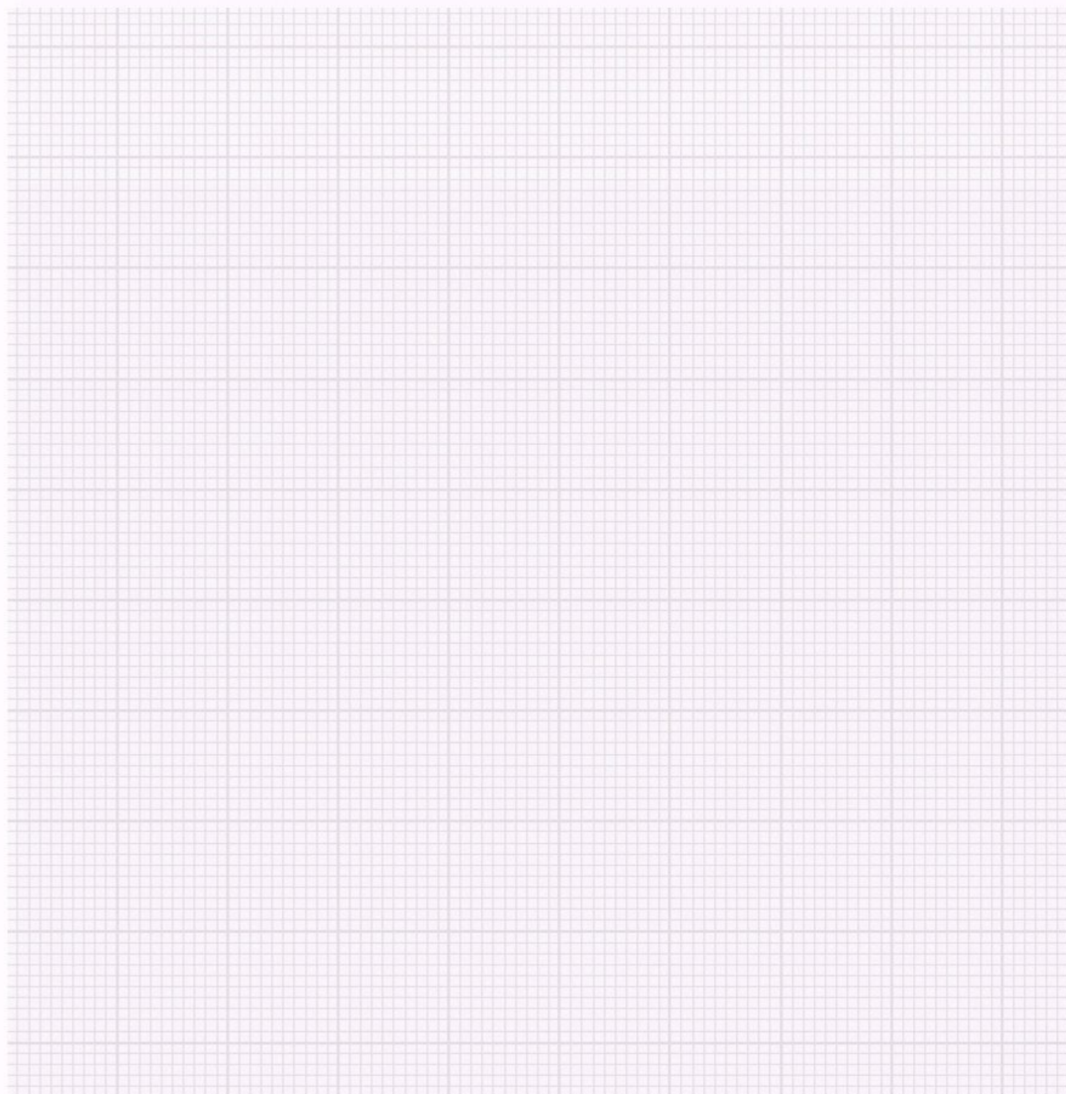


- Men vindt deze verhouding eenvoudig door het tellen van het aantal toppen van de Lissajous-figuur in de *X*- en in de *Y*-richting.

NAAM: KLAS:

OEFENING

Aan een oscilloscoop voert men twee spanningen toe. f_x is een ijkfrequentie van 30 kHz. Construeêr de figuur van Lissajous.



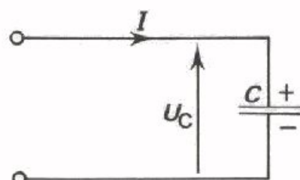
Uit de geconstrueerde figuur van Lissajous volgt de frequentie van de andere spanning:

f_y =

A40.16

A 41 LADEN EN ONTLADEN VAN EEN CONDENSATOR

HET LADEN VAN EEN CONDENSATOR DOOR MIDDEL VAN EEN GELIJKSTROOM



Voeren we aan een condensator een *constante* stroom toe van b.v. 10 µA, dan wordt er elke seconde een even grote lading aan de condensator toegevoerd.
In ons voorbeeld bedraagt deze lading:

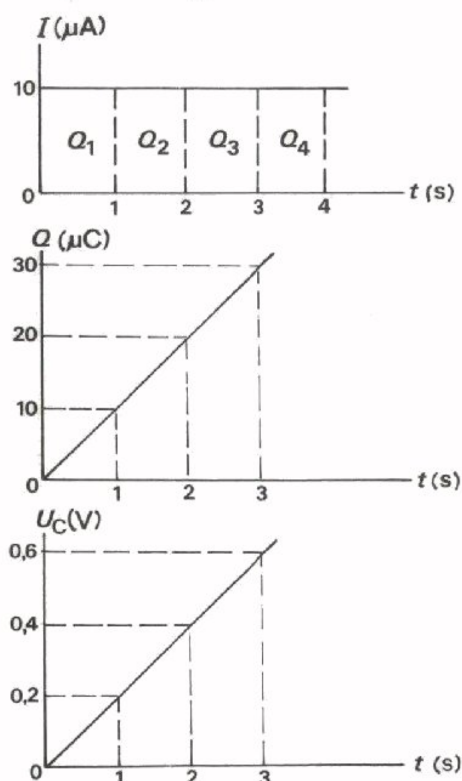
$$Q_1 = I.t = 10.10^{-6}.1 = 10\ \mu C$$

Elke seconde wordt de lading 10 µC groter.

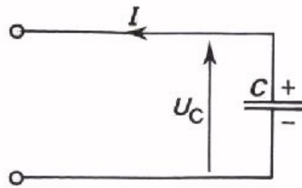
Zoals we weten geldt voor een condensator $Q = C.U$. Groeit de lading Q regelmatig aan, dan moet ook de spanning over de condensator gelijkmatig toenemen. Als we aannemen, dat de condensator een capaciteit heeft C = 50 µF, dan neemt de spanning elke seconde toe met een "stukje" spanning:

$$U_C = \frac{Q}{C} = \frac{10.10^{-6}}{50.10^{-6}} = 0,2\ V.$$

Het bovenstaande verhaal is hieronder nog eens in grafieken verteld. Probeer het stap voor stap te volgen.

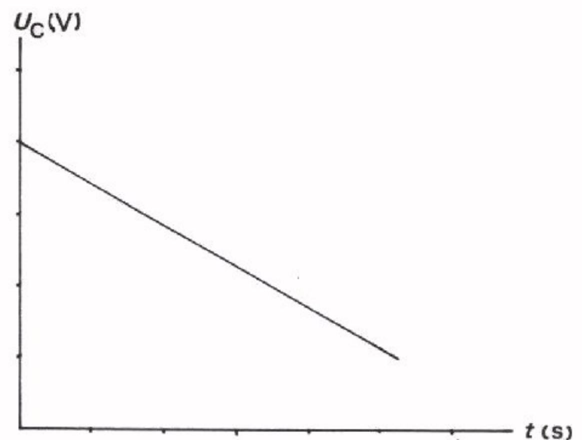


HET ONTLADEN VAN EEN CONDENSATOR DOOR EEN GELIJKSTROOM



Ontladen we een condensator zo, dat de ontlaadstroom constant is, dan vloeit er elke seconde een even grote lading Q_1 weg. Daardoor daalt de condensatorspanning elke seconde met een even grote hoeveelheid.

Met het verstrijken van de tijd neemt de condensatorspanning gelijkmatig af.
In nevenstaande grafiek is dit uitgebeeld.

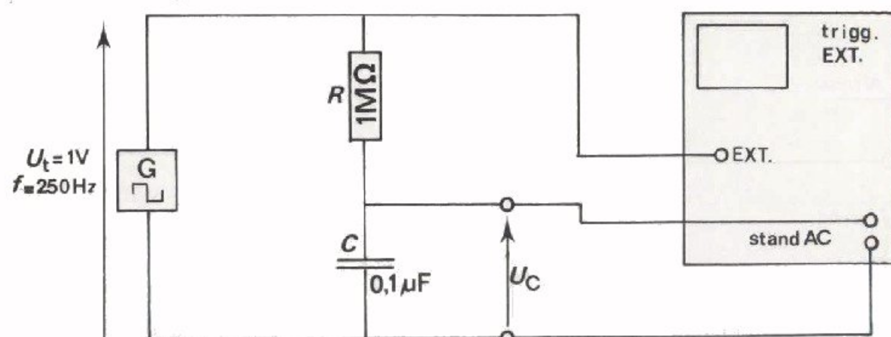


CONCLUSIE

Door een condensator te laden met een *constante stroom* neemt de *spanning lineair* toe.

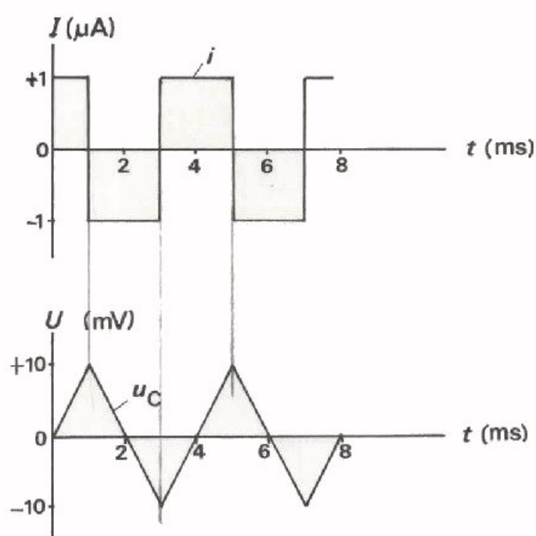
Door een condensator te ontladen met een *constante stroom* neemt de *spanning lineair* af.

OPDRACHT: LADEN EN ONTLADEN VAN EEN CONDENSATOR DOOR MIDDEL VAN EEN GELIJKSTROOM



- Bouw deze schakeling en maak de spanning U_C zichtbaar op het scherm van de oscilloscoop.
- Bepaal de topwaarde van de spanning over de condensator:

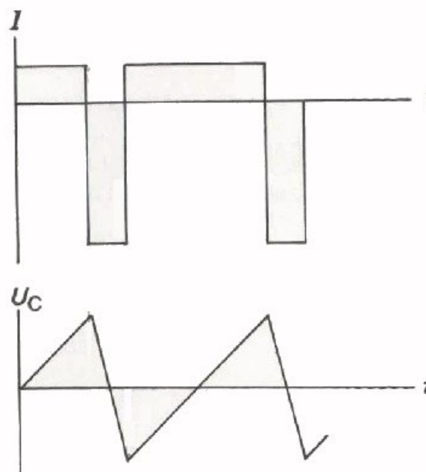
U_{Ct} =



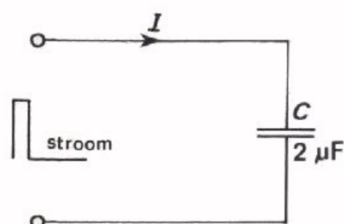
De toegevoerde spanning U_{tot} is veel groter dan U_C. U_{tot} staat dus bijna geheel over de weerstand R = 1 MΩ. De blokspanning over R veroorzaakt door R een blokstroom I. Deze I is als het ware een "gelijkstroom die telkens van richting omkeert". Deze stroom laadt en ontlaadt de condensator beurtelings, waardoor over de condensator een driehoeksspanning ontstaat.

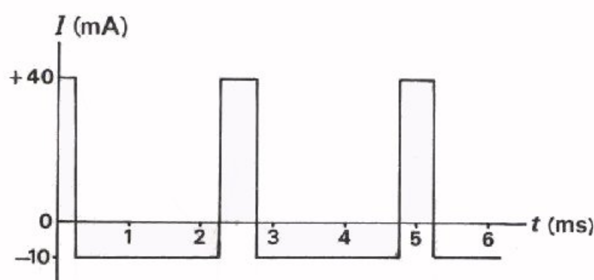
Op het scherm van de oscilloscoop zien wij deze driehoeksspanning. We constateren daarmee dat een constante gelijkstroom een condensator inderdaad lineair laadt en ontlaadt.

Praktische toepassing vindt dit in een *zaagtandspanningsgenerator*. Men voert daarbij een niet-symmetrische blokstroom aan een condensator toe. Daardoor wordt deze langzaam geladen en daarna snel ontladen.



OEFENING







- De getekende stroom I voert men toe aan een condensator van 2 µF.
- Telkens wordt een lading toe- en afgevoerd van:

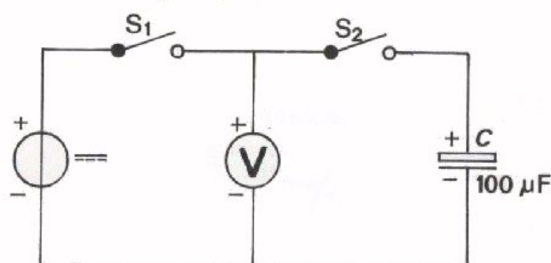
  Q =

- Hierdoor zal de condensatorspanning toe- en afnemen met:

  U_C =

- Teken hier de grafiek van U_C.

OPDRACHT: HET ONTLADEN VAN EEN *C* VIA EEN *R*



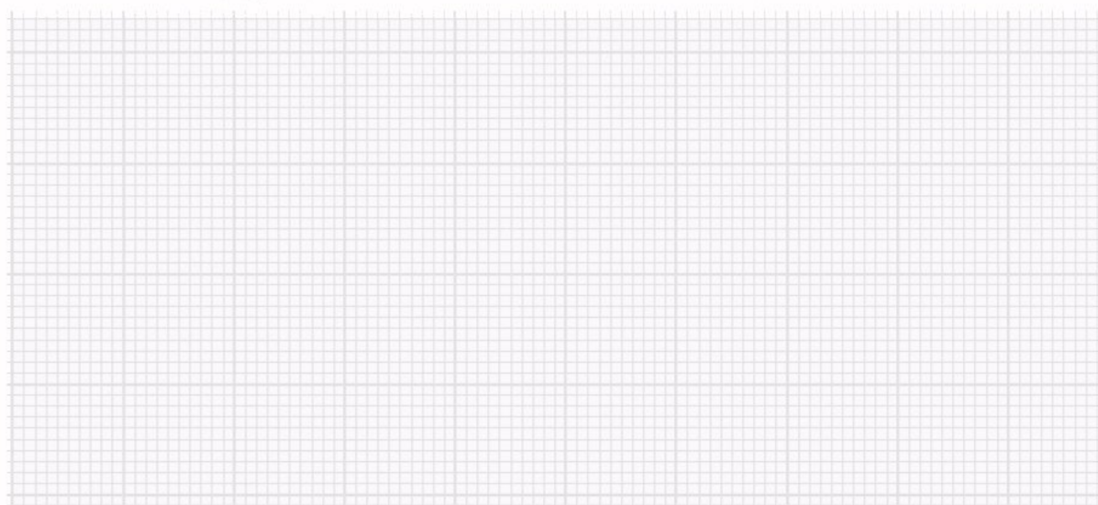
- Bouw deze schakeling. Let op de polariteit van de elco.
- Stel na het sluiten van S_1 de gelijkspanningsbron in op precies 2,8 V.
- Laad de condensator door de schakelaar S_2 ook te sluiten.
- Door S_1 te openen gaan we nu de elco ontladen via de universeelmeter in de stand "3 V ⎓ ". Daarbij dient u een horloge met secondewijzer bij de hand te hebben. U meet met zijn tweeën; de ene cursist let op de meter en de andere kijkt op het horloge. U moet meten hoeveel seconden het duurt om de *C* te ontladen van:

  2,8 V tot 1,4 V
  1,4 V tot 0,7 V
  0,7 V tot 0,35 V
  0,35 V tot 0,175 V.

Voer de meting enige malen uit om handigheid te krijgen. Doe hem daarna definitief en noteer de resultaten hieronder.

U_C (V)	tijdstip (s)
2,8	0
1,4	
0,7	
0,35	
0,175	

- Zet in volgende grafiek de meetresultaten uit en verbind de punten door een vloeiende lijn.



- De condensator is bij deze proef ontladen via de weerstand van de universeelmeter. Dit is een vrij grote weerstand; hij bedraagt:

$R_{i\ meter}$ = [ ]

Uit de grafiek blijkt dat deze ontlading op een bijzondere manier geschiedt:

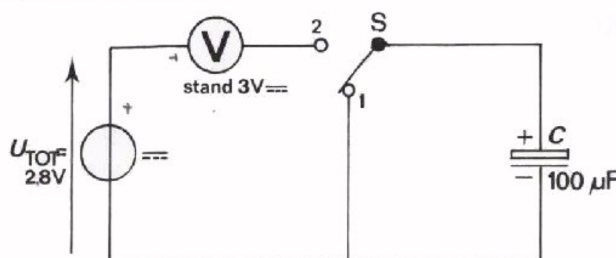
Het kost telkens dezelfde tijd om de condensatorspanning tot op de helft te laten dalen.

Bij onze proef bedraagt deze tijd 13,5 s.

- Voer dezelfde meting nog een keer uit met twee condensatoren van 100 µF parallel.
- Teken ook voor dit geval de grafiek in de figuur hierboven.

Aan de getekende krommen is duidelijk te zien dat de ontlading bij een kleiner *RC*-product sneller geschiedt. Ga dit na.

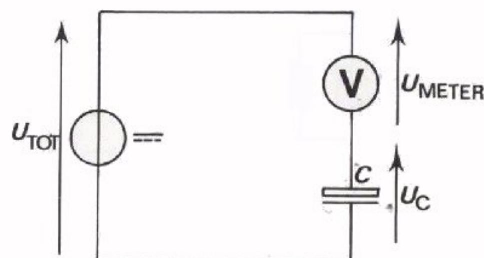
OPDRACHT: HET LADEN VAN EEN *C* VIA EEN *R*



We hebben het ontladen van een condensator via een (meter-)weerstand bekeken. Nu gaan we het laden bestuderen.

- Bouw bovenstaande schakeling op het oefenpaneel.
- Stel de spanning van de bron in op precies 2,8 V met S in stand 1.
- Als u de schakelaar S in stand 2 zet wordt de condensator via de R_i van de meter geladen. De meter zal tijdens dit laden op elk moment de spanning over zijn eigen R_i aanwijzen. De spanning over de *C* is dan het *verschil* van de toegevoerde spanning U_{TOT} = 2,8 V en de spanning die de meter aanwijst:

$$U_C = U_{TOT} - U_{METER}$$

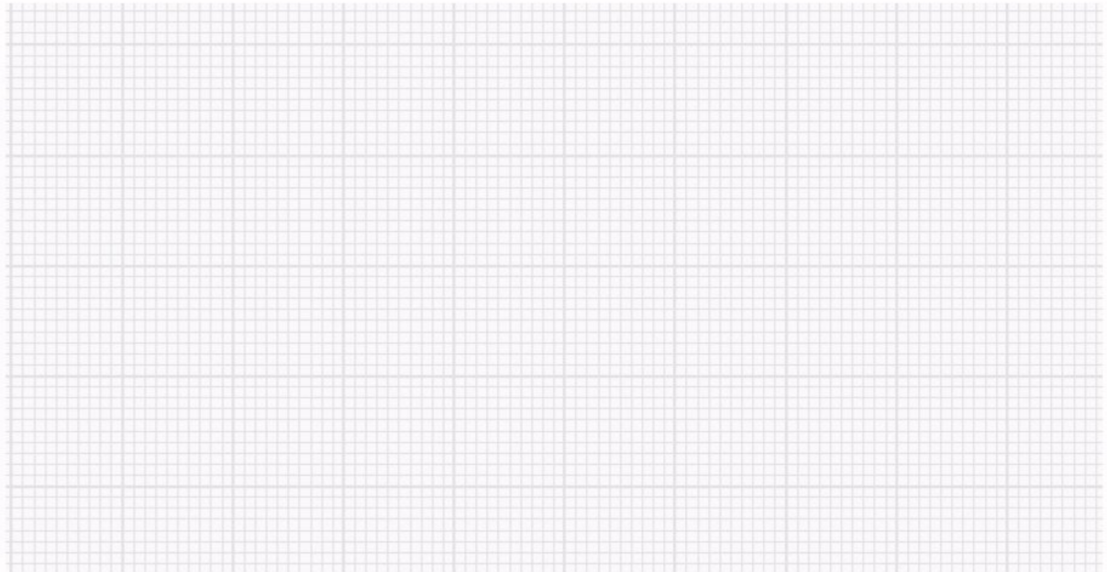


- Zet nu S in stand 1 en meet met behulp van een horloge hoe lang het duurt om volgende voltmeteraanwijzingen te krijgen:

U_{METER} (V)	tijdstip (s)	$U_C = 2{,}8 - U_{METER}$ (V)
2,8	0	
1,4		
0,7		
0,35		
0,175		

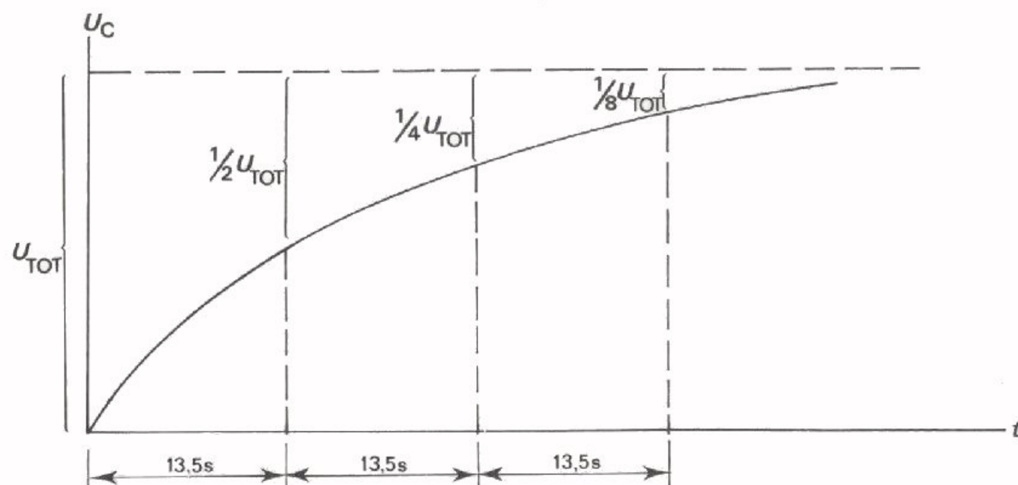
- Bereken in de laatste kolom van de tabel telkens U_C.

- Zet in volgende grafiek de meetresultaten uit en verbind de punten door een vloeiende lijn.

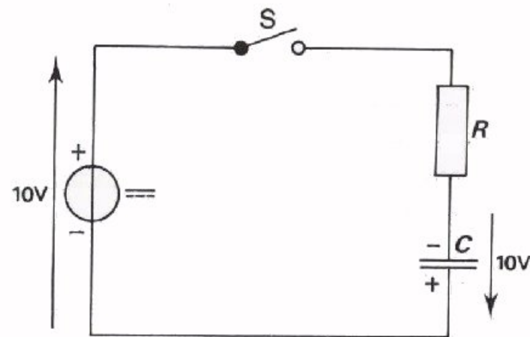


- De condensator is bij deze proef geladen via de weerstand van de meter. Uit de grafiek blijkt dat het bij lading van de condensator *telkens dezelfde tijd kost om de spanningstoename, die de C nog moet doorlopen, tot de helft te laten dalen.*

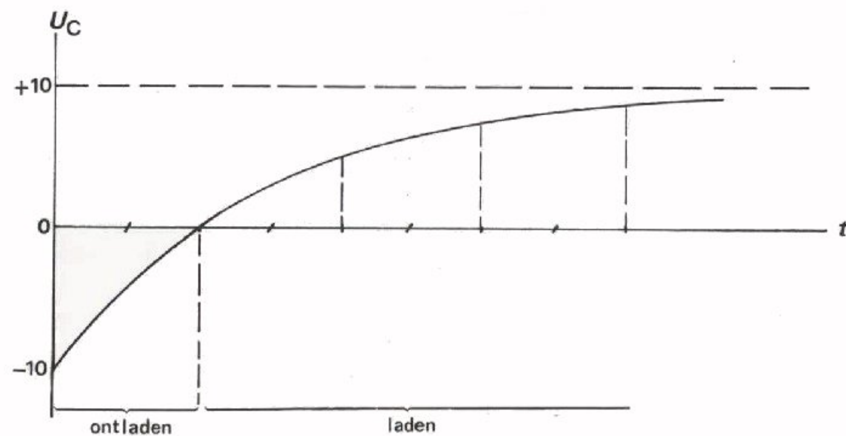
  Bij onze proef is deze tijd 13,5 sec. Zie ook volgende grafiek.



ONTLADEN EN LADEN VAN EEN *C* VIA EEN *R*

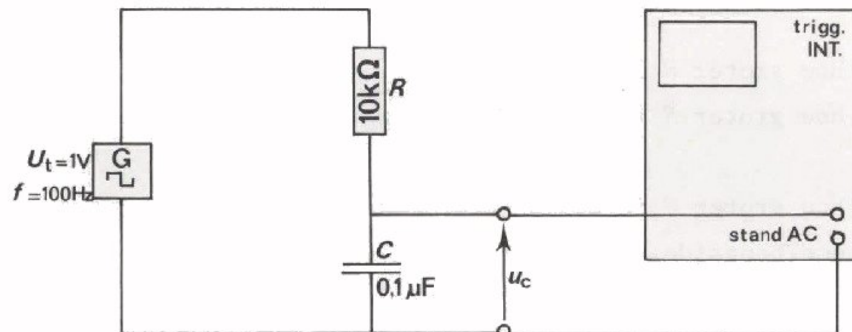


In deze schakeling is een negatief geladen *C* en een *R* opgenomen. Sluiten we de schakelaar, dan wordt de serieschakeling van *R* en de negatief geladen *C* op een positieve gelijkspanning van 10 V aangesloten.
Het verloop van de spanning over de condensator zal dan zijn zoals we in de vorige opdrachten gezien hebben.
Eerst ontlaadt de condensator zich van −10 V naar 0 V en vervolgens wordt hij geladen van 0 V naar +10 V. In volgende grafiek is dit getekend.

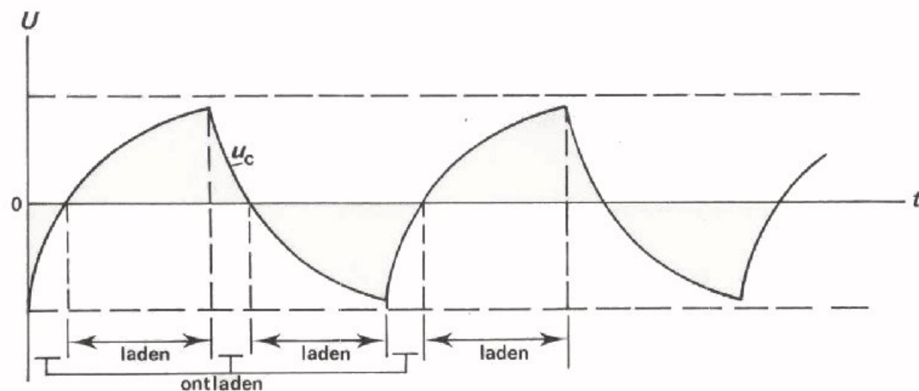


In volgende opdracht gaan we een dergelijk gedrag bekijken op het scherm van een oscilloscoop.

OPDRACHT: ONTLADEN EN LADEN VAN EEN *C* VIA EEN *R*



- Bouw deze schakeling en maak u_c zichtbaar op het scherm van de oscilloscoop.
- Aan de serieschakeling van *C* en *R* wordt een "telkens omklappende gelijkspanning" toegevoerd. Hierdoor wordt de *C* via de *R* telkens ontladen. Aan het beeld op het scherm kunt u het verloop van u_c, zoals dit op het vorig blad werd verklaard, duidelijk waarnemen.



HET *RC*-PRODUKT

Waar hangt de laadsnelheid van af, als we een *C* via een *R* laden?

- Hoe groter *R* is des te kleiner is de laadstroom, m.a.w. hoe groter *R* is des te langer zal het laden duren.

- Hoe groter *C* is des te meer lading is er nodig om aan de condensator een bepaalde spanning te geven, m.a.w. hoe groter *C* is des te langer duurt het laden.

Samenvattend kan men zeggen:

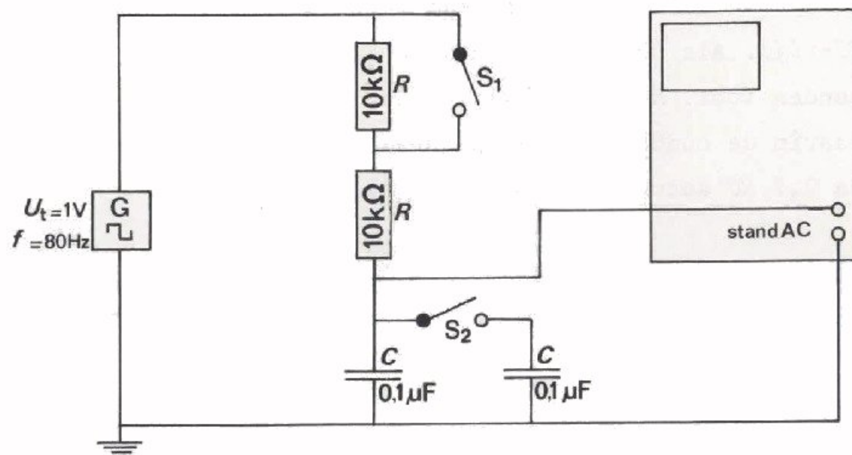
Hoe groter het produkt RC is, des te langer duurt het om een C via een R te laden.

Voor het ontladen van een *C* via een *R* geldt iets dergelijks. Naarmate het produkt *RC* groter is, duurt het langer om de condensator te ontladen.

Het laden of ontladen van een condensator C_1 = 0,1 µF via een weerstand R_1 = 1 MΩ duurt even lang, als van een condensator C_2 = 1 µF via een weerstand van 100 kΩ, omdat het produkt *RC* in beide gevallen gelijk is.

In de volgende opdracht gaan we de invloed van het *RC*-produkt met behulp van een oscilloscoop bekijken.

OPDRACHT: DE INVLOED VAN HET *RC*-PRODUKT OP HET (ONT)LADEN VAN EEN *C*



- Bouw deze schakeling; S_2 open, S_1 gesloten.
- Maak vervolgens U_C op het scherm zichtbaar.
- Open S_1 en let op veranderingen in het beeld.

  Door S_1 te openen wordt *R* en dus ook het *RC*-produkt groter.
  Het laden en ontladen geschiedt dus langzamer.
- Sluit S_1 en S_2.

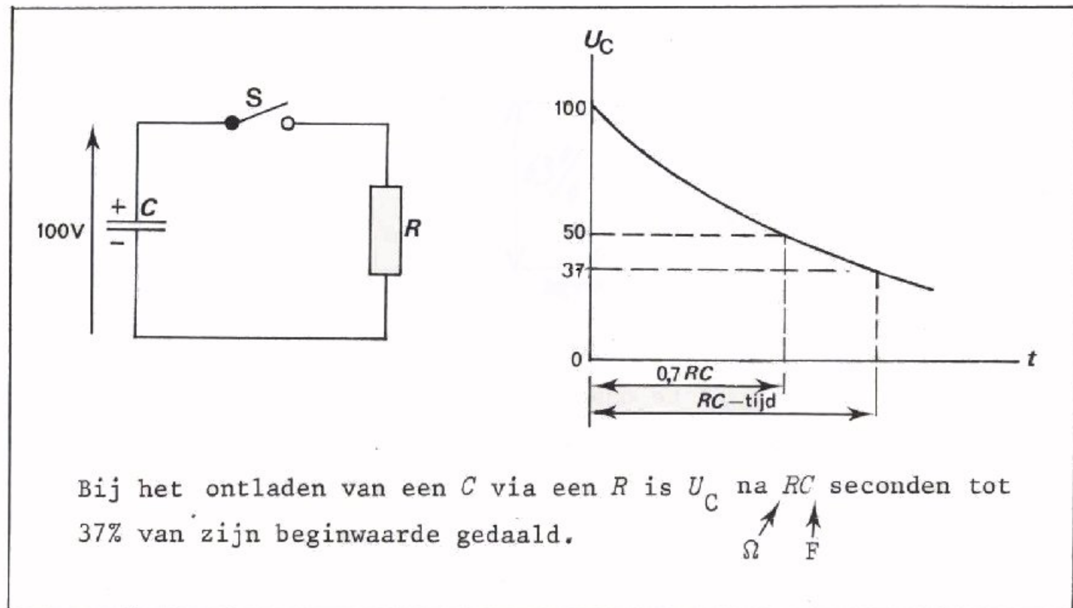
  Nu wordt *R* 2x zo klein en *C* 2x zo groot, zodat het *RC*-produkt niet verandert. U ziet het beeld dan ook niet veranderen.
- Open S_1 en laat S_2 gesloten. Het *RC*-produkt is nu nog eens 2x zo groot geworden. Het laden en ontladen geschiedt nog langzamer.
- Herhaal deze proeven een aantal malen snel achter elkaar:

  S_1 dicht: S_2 open: *RC*
  S_1 open: S_2 open: 2*RC*
  S_1 open: S_2 dicht: 2*R*.2*C* = 4*RC*.

DE *RC*-TIJD

Het produkt *RC* stelt een *tijd* voor. Men spreekt dan ook meestal van de *RC-tijd*. Als men *R* in Ω en *C* in F uitdrukt, dan stelt *RC* een aantal seconden voor. Men kan bewijzen dat de *RC*-tijd in seconden de tijd is, waarin de condensator zich ontlaadt tot op 37% van zijn beginspanning. Na 0,7 *RC* seconden is de spanning gedaald tot 50% van de beginspanning.

ONTHOUD:



Bij het ontladen van een *C* via een *R* is U_C na *RC* seconden tot 37% van zijn beginwaarde gedaald.
(*R* in Ω, *C* in F)

VOORBEELD

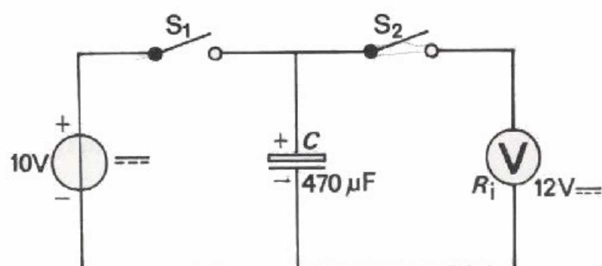
$R = 1\ \mathrm{M\Omega}$

$C = 50\ \mu F$. :50s

De *RC*-tijd is dus: $10^6.(50.10^{-6}) = 50$ s. In 50 seconden daalt de spanning bij ontladen tot op 37% van de beginspanning of grof gezegd tot op $\frac{1}{3}$ van de beginspanning.

Laadt men een *C* van 50 µF via een *R* van 1 MΩ dan duurt het 50 seconden om op (100 - 37)% van de eindspanning te komen of grof gezegd tot op $\frac{2}{3}$ van de eindspanning.

OPDRACHT: HOEVEEL ONTLAADT EEN C ZICH IN RC SECONDEN?



- Bouw deze schakeling.
- Bereken de R_i van de meter in deze stand.

R_i = [ ]

- Bereken het RC-produkt.

R_iC = s

R_iC = [min en s]

- Laad C tot 10 V door S_1 te sluiten.
- Open S_1 en sluit S_2.

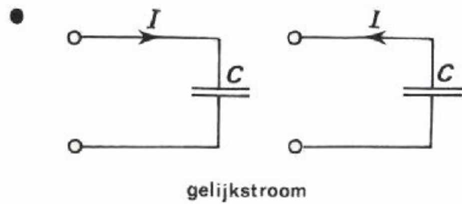
  Ga met een horloge en de meter na tot hoever de C zich ontlaadt in de R_iC-tijd.

  Na R_iC seconden bedraagt: U_C = [V]

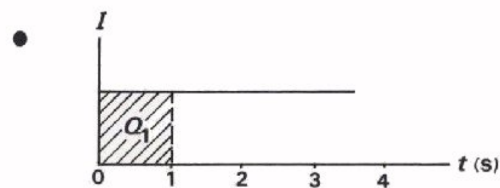
  Dit is [%] van de beginwaarde.
- Open S_2 en vervang de C van 470 µF door een van 100 µF.
- Laad de C weer tot 10 V en meet de tijd nodig om U_C te laten dalen tot 3,7 V.

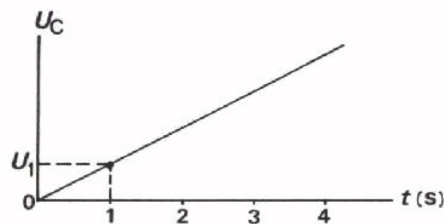
U vindt R_iC = [s]

SAMENVATTING

- 

Toevoeren van een gelijkstroom doet de spanning op een condensator *lineair* stijgen. Afvoeren van een gelijkstroom doet de spanning *lineair* dalen.

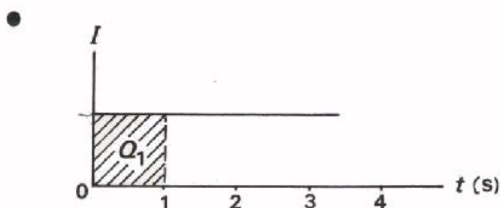
- 

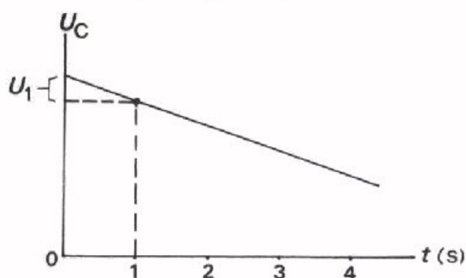


Het toevoeren van een gelijkstroom I doet de condensatorspanning U_C lineair toenemen.
Per seconde wordt een lading Q_1 toegevoerd, die U_C

$$U_1 = \frac{Q_1}{C} = \frac{I}{C}$$

doet toenemen.

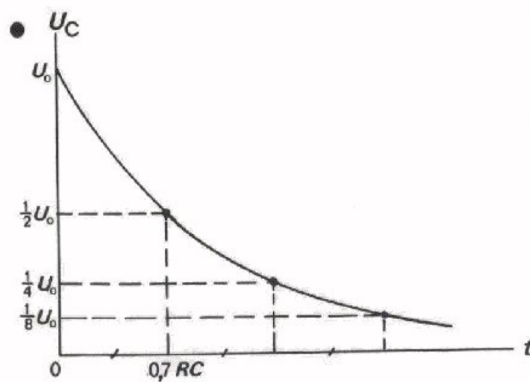
- 



Het afvoeren van een gelijkstroom I doet de condensatorspanning U_C lineair afnemen.
Per seconde wordt een lading Q_1 afgevoerd, die U_C

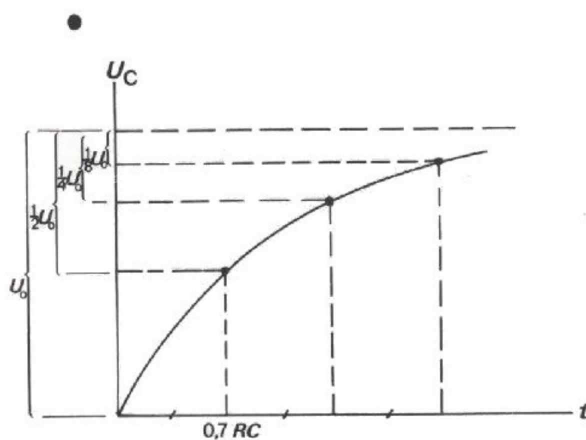
$$U_1 = \frac{Q_1}{C} = \frac{I}{C}$$

doet afnemen.



Een condensator *ontlaadt* zich via een weerstand volgens bijgaande ontlaadgrafiek.

Daarbij valt de spanning telkens in een even grote tijd t terug tot op de helft.

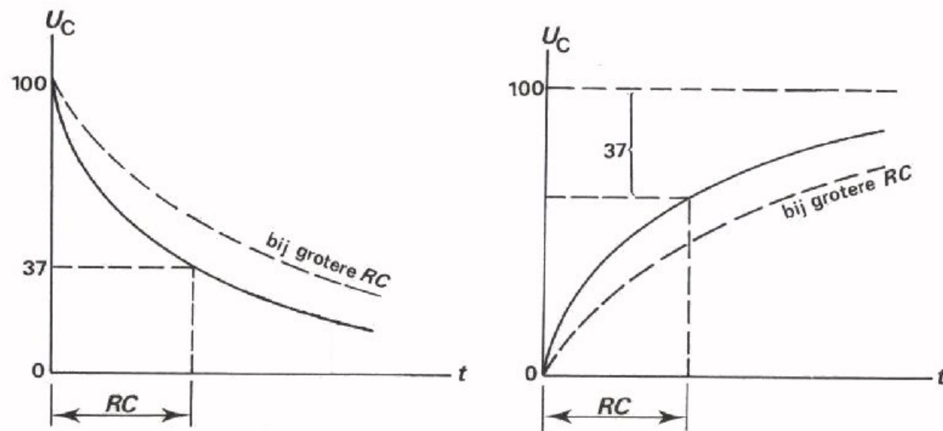


Een condensator *laadt* via een weerstand volgens bijgaande laadgrafiek.

Daarbij neemt "de spanningsstijging die nog voor de boeg ligt" telkens in een even grote tijd t af tot op de helft.

- Een condensator wordt langzamer geladen of ontladen naarmate het produkt *RC* groter is.

In *RC* seconden daalt de spanning bij een condensator, die zich via een weerstand ontlaadt, tot 37% van zijn beginspanning. In *RC* seconden stijgt de spanning bij een condensator, die via een weerstand wordt geladen tot (100 - 37)% van de eindspanning.



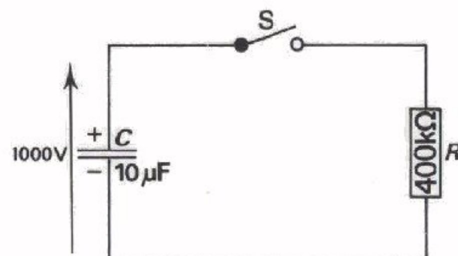
50% van de spanning wordt in beide gevallen bereikt na 0,7 *RC* seconden.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



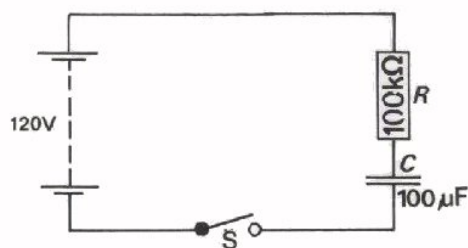
Bepaal de *RC*-tijd. *RC* = s

Tot welke spanning is de condensator ontladen na:

4 s U_C = V

8 s U_C = V

16 s U_C = V



Na sluiten van S groeit U_C aan tot 120 V. Bereken de *RC*-tijd.

RG-tijd = s

Tot welke spanning is de condensator geladen na *RC* seconden?

U_C = V

A41.18

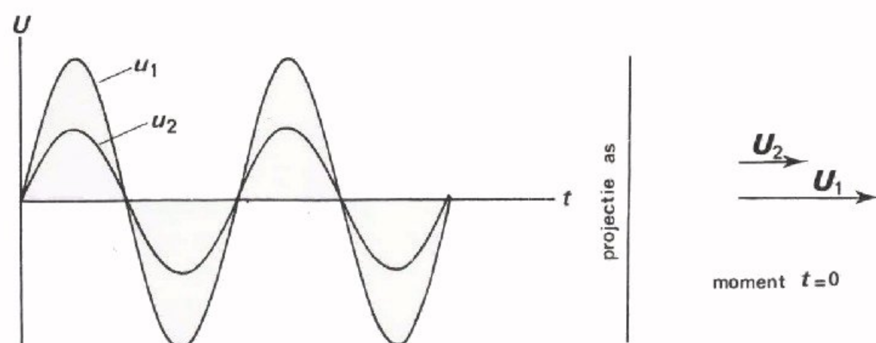
A 42 HERHALING 4A

We hebben in de laatste 8 lessen heel wat nieuwe dingen geleerd. Het wordt weer tijd dat we het voorafgaande degelijk herhalen. We trekken voor deze herhaling twee lessen uit. In les A44 volgt dan een uitvoerige test.

Enkele tips:

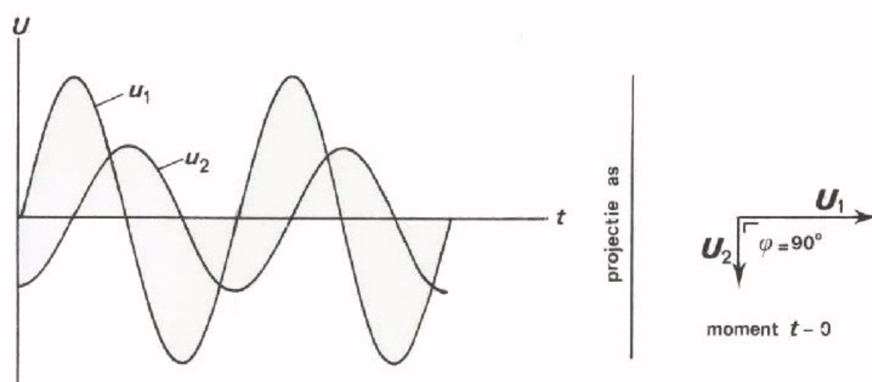
- Werk deze herhalingslessen grondig door.
- Bestudeer de samenvattingen van de voorafgaande lessen.
- Ga na in welke oefeningen u fouten maakte en probeer vooral uit te vinden waarom u die maakte.
- Als u iets nog niet begrijpt, vraag het dan aan uw leraar.

DE FASE

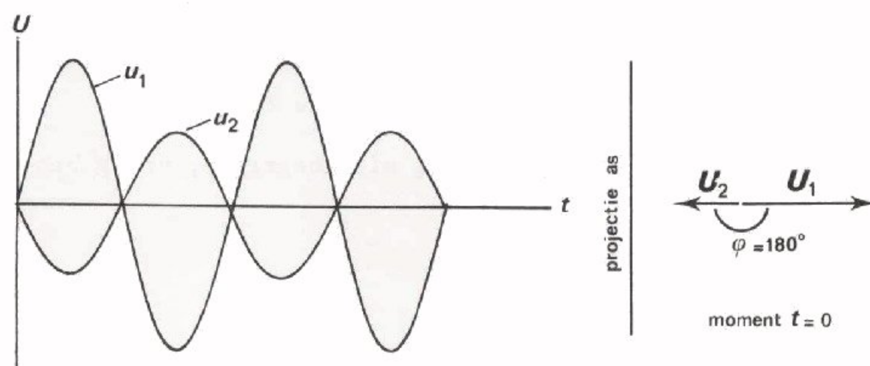


Hier ziet u twee sinusvormige wisselspanningen u_1 en u_2, die in fase zijn.

Zij zijn tegelijkertijd nul, maximum positief en maximum negatief. Het al of niet in fase zijn, ziet u het gemakkelijkst aan het vectordiagram. Als u_1 en u_2 *in fase* zijn, dan wijzen de vectoren *in dezelfde richting.*



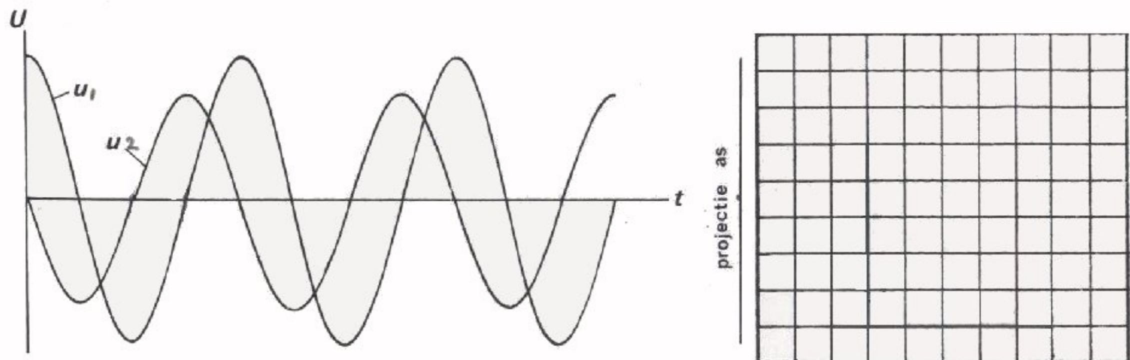
Hier ziet u twee sinusvormige wisselspanningen u_1 en u_2, die in fase verschoven zijn.
De vectoren maken een hoek met elkaar, de z.g. *faseverschuivingshoek* φ .
In dit voorbeeld *ijlt* u_2 90^0 *na* op u_1. U kunt ook zeggen, dat u_1 90^0 *voorijlt* op u_2.



Dit is een bijzonder geval. Hier is de faseverschuivingshoek $\varphi = 180^0$, zodat de vectoren *in tegengestelde richting wijzen.*
Men zegt dat u_1 en u_2 in *tegenfase* zijn.

TEST UZELF

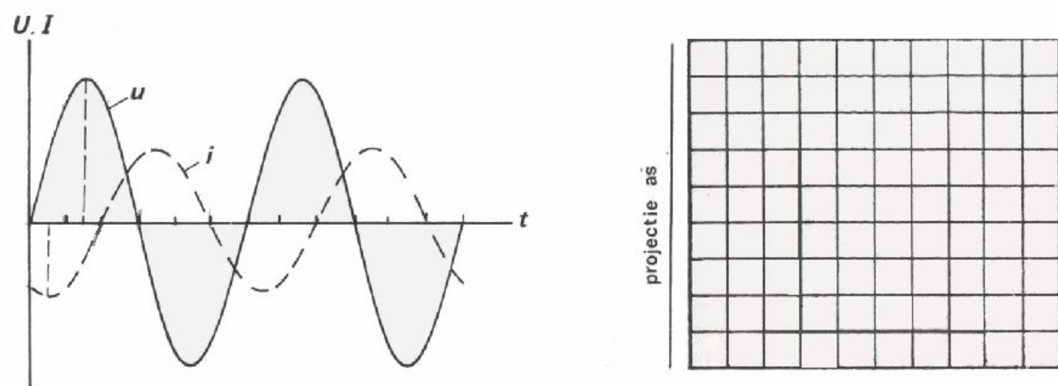
1. Hieronder is een figuur gegeven, waarin de grafieken van twee sinusvormige spanningen zijn getekend. Bepaal de faseverschuivingshoek tussen deze spanningen. Teken daartoe eerst het vectordiagram op het moment $t = 0$.



φ =

u_1 ijlt **voor / na** op u_2.

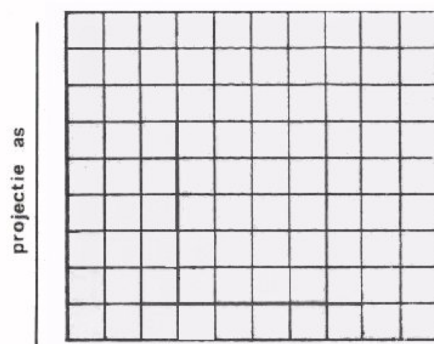
2. Bepaal op dezelfde manier de faseverschuivingshoek φ i het volgend geval.



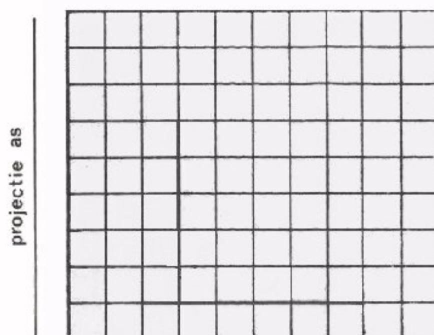
φ =

u ijlt **voor / na** op i.

3. Een spanning u ijlt 45^0 voor op een stroom i. Teken in onderstaand vectordiagram de spanningsvector.



4. Een spanning u ijlt 30^0 na op een stroom i. Op het tijdstip $t = 0$, $i = I_t$. Teken het vectordiagram op het moment $t = 0$.



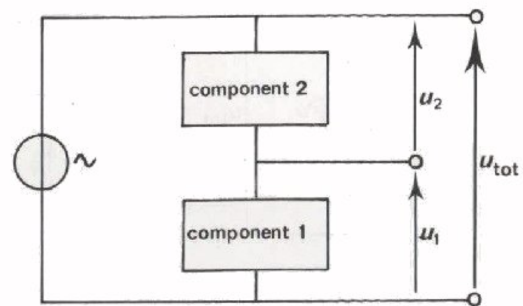
OPMERKING

Over *de fase* spreekt men alleen bij stromen en spanningen die:

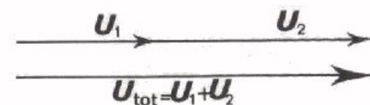
- sinusvormig zijn, én
- dezelfde frequentie hebben.

Het is onzin om te spreken over "de fase" bij zaagtand-, blok-, driehoeksspanningen, enz. Men kan deze zelfs niet door vectoren voorstellen; dit is *alleen* mogelijk met sinusvormige grootheden!

DE VECTORSOM



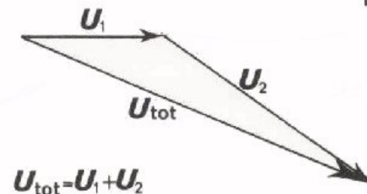
Als in een schakeling zoals hiernaast twee spanningen u_1 en u_2 voorkomen, dan kan men niet zonder meer zeggen, dat de totale spanning u_{tot} gelijk is aan de *som* van u_1 en u_2.



Dit is alleen het geval als u_1 en u_2 *in fase* zijn. Zijn de componenten beide *R*'s of *C*'s dan zijn u_1 en u_2 in fase en dan geldt:

$u_{tot} = u_1 + u_2$.

U_1 en U_2 in fase



U_1 en U_2 niet in fase

Zijn u_1 en u_2 *niet in fase* dan is de totale spanning u_{tot} de *vectorsom* van u_1 en u_2:

$\boldsymbol{U}_{tot} = \boldsymbol{U}_1 + \boldsymbol{U}_2$.

Nu is u_{tot} *kleiner* dan $u_1 + u_2$.

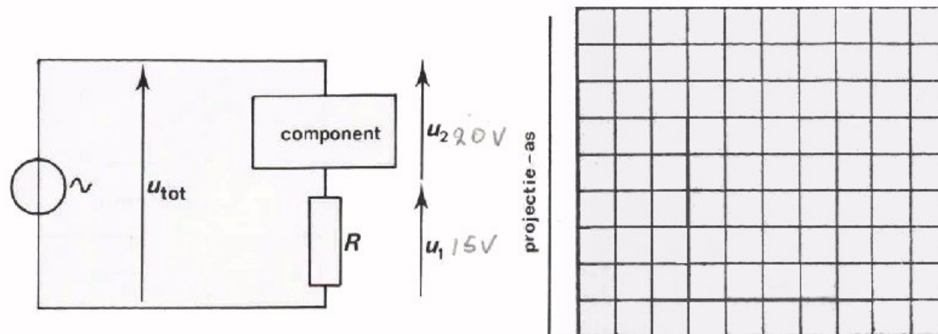
De *vectorsom* van een aantal wisselspanningen,die in een schakeling optreden,vindt men door hun *vectoren achter elkaar aan* te tekenen en het begin van de eerste vector te verbinden met het eind van de laatste vector.

EZELSBRUGGETJE

Zoals in een *schema* de pijlen u_1 en u_2 achter elkaar aan staan, is dit het geval met de vectoren $\boldsymbol{U}_1$ en $\boldsymbol{U}_2$ in het *vectordiagram*. Net zoals in het schema de pijl van $\boldsymbol{U}_{tot}$ gaat van het begin van $\boldsymbol{U}_1$ naar het eind van $\boldsymbol{U}_2$, is dit in het vectordiagram het geval.

TEST UZELF

1\.

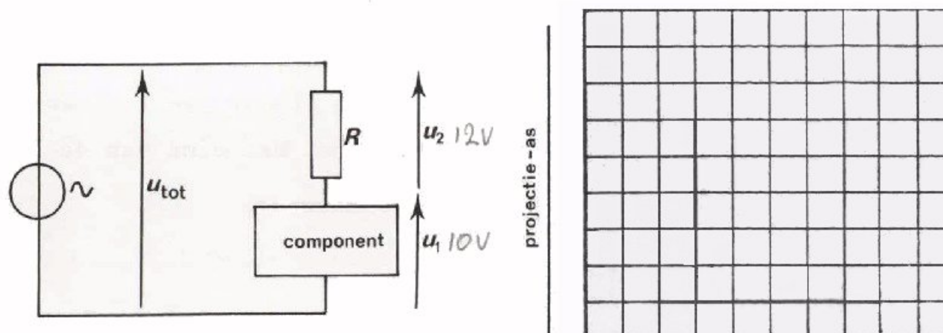


Bepaal $U_{tot(eff)}$, als $U_{1(eff)}$ = 15 V en $U_{2(eff)}$ = 20 V, terwijl u_2 90^0 na-ijlt op u_1.

Teken hierboven eerst het vectordiagram. Neem 1 cm voor 5 V.

$U_{tot(eff)} = \sqrt{\qquad} =$ [V]

2\.

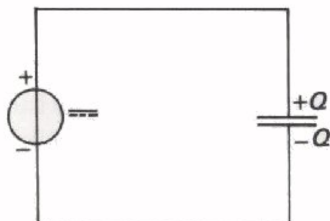


Bepaal $U_{(tot)t}$ als U_{1_t} = 10 V en U_{2_t} = 12 V, terwijl u_2 120^0 voorijlt. Teken hierboven eerst het vectordiagram. Neem 1 cm voor 2 V. Meet in het vectordiagram $U_{(tot)t}$.

$U_{(tot)t} =$ [V]

DE CONDENSATOR

Een condensator bestaat uit twee geleiders, gescheiden door een isolator.



Als men een condensator aansluit op een gelijkspanningsbron, dan wordt hij geladen.
Er loopt in de toevoerleidingen even een gelijkstroom, waardoor de platen een even grote, maar tegengestelde lading krijgen. Over de condensator komt een spanning te staan.

Als men een constante gelijkstroom van I ampère gedurende t seconde aan een condensator toevoert, verkrijgen de platen tegengestelde ladingen, die elk $Q = I.t$ (C) groot zijn.

Bij een condensator is er een constante verhouding tussen de lading op een van de platen en de spanning over de platen. Deze verhouding noemt men de capaciteit. In formule:

$$\frac{Q}{U} = C$$

Q :	lading,	C
U :	spanning,	V
C :	capaciteit,	F.

De eenheid van capaciteit is de farad, F. Kleinere eenheden zijn:

1 μF = 10^{-6} F
1 nF = 10^{-9} F
1 pF = 10^{-12} F.

De capaciteit is groter naarmate:
- het plaatoppervlak groter is
- de platen dichter bij elkaar staan.

Verder hangt C af van de aard van het diëlektricum.
Sluit men een gelijkspanningsbron aan op een condensator, dan loopt er kortstondig een laadstroom in de toevoerleidingen. Sluit men een wisselspanningsbron aan op een condensator, dan loopt er voortdurend een wisselstroom in de toevoerleidingen. De condensator wordt afwisselend geladen en ontladen. Door een condensator zelf loopt nooit stroom. Men zegt echter vaak, dat "door" een condensator wisselstroom loopt.

TEST UZELF

1. Hoe groot is de lading die een condensator van 500 pF verkrijgt, als die aangesloten wordt op een spanning van 100 V?

Q = [ ]

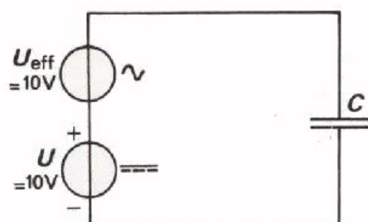
2. Aan een condensator van 100 µF voert men gedurende 60 seconden een stroom van 20 µA toe. Tot welke spanning is de condensator dan geladen?

U = [ ]

3. Als een condensator op zijn platen ladingen heeft van +240 µC en −240 µC, is de spanning tussen de platen 4 V. Hoe groot is zijn capaciteit?

C = [ ]

4.

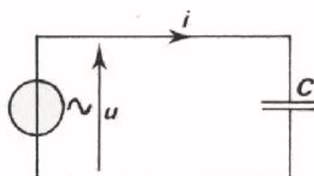


In de toevoerleidingen van deze condensator loopt:

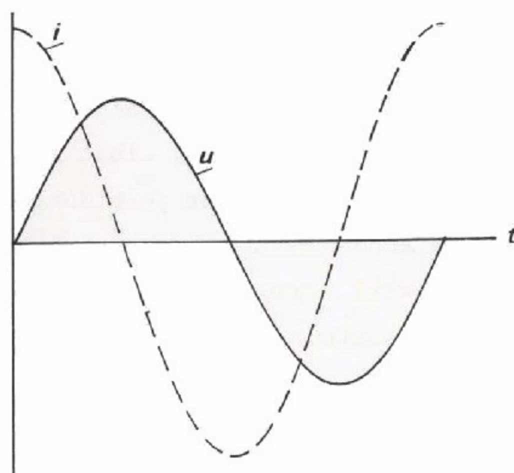
- een pulserende gelijkstroom O
- een zuivere gelijkstroom O
- een onzuivere wisselstroom O
- een zuivere wisselstroom O

REACTANTIE

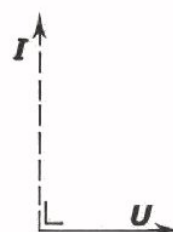
Sluit men op een condensator een *sinusvormige* wisselspanning u aan, dan gaat er eveneens een *sinusvormige* wisselstroom i lopen, die 90° voorijlt op de spanning.



In onderstaande figuren is dit alles getekend.



projectie as



tijdstip $t = 0$

Het quotiënt van de toegevoerde wisselspanning en stroom heet de wisselstroomweerstand of *reactantie* van de condensator.

Deze bedraagt:

$$\boxed{\frac{u}{i} = X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}}$$

X : reactantie, Ω

f : frequentie, Hz

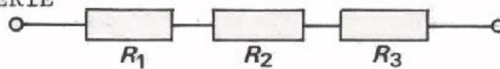
C : capaciteit, F

ω : hoekfrequentie = $2\pi f$.

REACTANTIE EN CAPACITEIT BIJ SERIE- EN PARALLELSCHAKELING VAN CONDENSATOREN

Voor serie- en parallelschakelingen van reactanties gelden soortgelijke formules als voor schakeling van weerstanden.

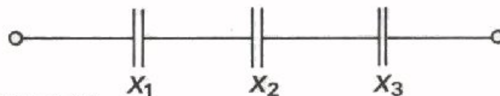
SERIE



vervangingsweerstand:

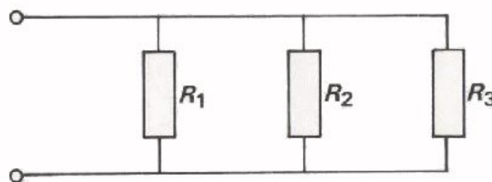
$R_s = R_1 + R_2 + R_3.$

vervangingsreactantie:



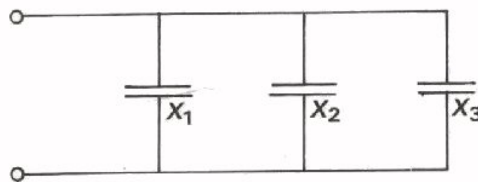
$$\boxed{X_s = X_1 + X_2 + X_3}$$

PARALLEL



vervangingsweerstand:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$



vervangingsreactantie:

$$\boxed{\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}}$$

Bovenstaande formules gelden dus voor de reactanties. In het *serie*geval geldt voor de vervangingscapaciteit:

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

In het *parallel*geval geldt voor de vervangingscapaciteit:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3.$$

Deze laatste formules moet u niet van buiten leren. Zij volgen uit de bovenstaande met behulp van $X = \frac{1}{\omega C}$. Ga dit na.

TEST UZELF

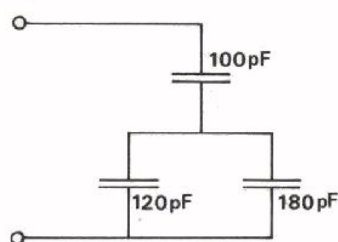
1. Bereken de reactantie van een condensator van 1 nF bij volgende frequenties:

f	X
100 Hz	
10 kHz	
1 MHz	

2. Men beschikt over condensatoren van:
100 pF, 120 pF, 180 pF, 220 pF, 270 pF, 330 pF, 390 pF, 470 pF en 560 pF.
Door welke combinaties kan men een capaciteit verkrijgen van:

400 pF	en	**parallel / in serie**
800 pF	en	**parallel / in serie**
110 pF	van	**parallel / in serie**

3. Bereken de reactantie van deze condensatorschakeling bij 100 kHz:



C_{tot} = [ ] pF

X_{tot} = [ ]

G E H E U G E N S T E U N

- $\frac{Q}{U} = C$

  Bij lading door gelijkstroom geldt:

  $Q = I.t$

-

- $X_C = \frac{u_C}{i_C} = \frac{1}{2\ \pi\ fC} = \frac{1}{\omega\ C}$

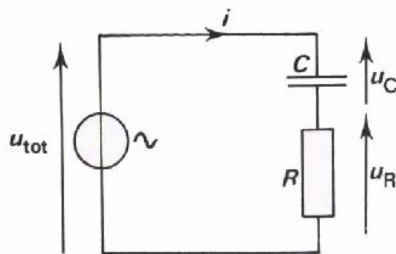
- $X_s = X_1 + X_2 + X_3$

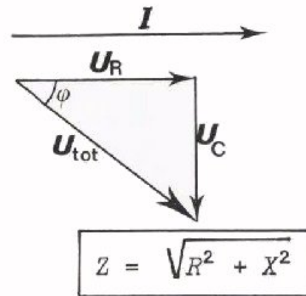
  $u_{tot} : u_1 : u_2 : u_3 = X_s : X_1 : X_2 : X_3$

- $\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}$

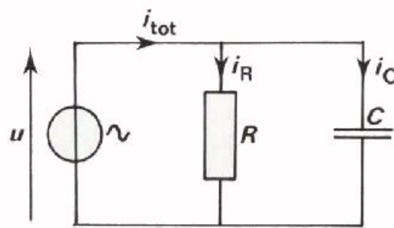
  $i_{tot} : i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{X_p} : \frac{1}{X_1} : \frac{1}{X_2} : \frac{1}{X_3}$

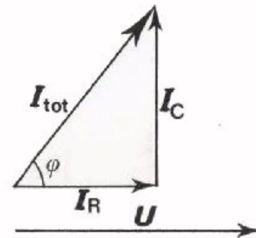
GEHEUGENSTEUN





$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

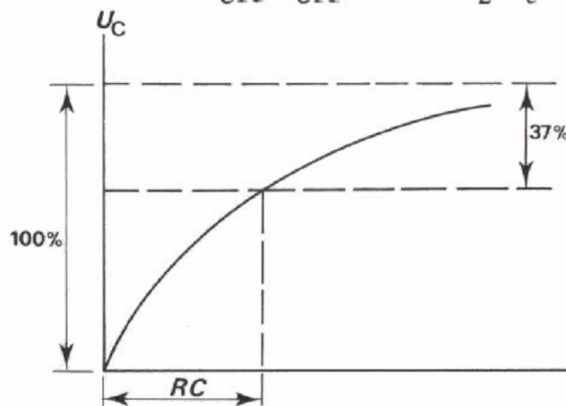


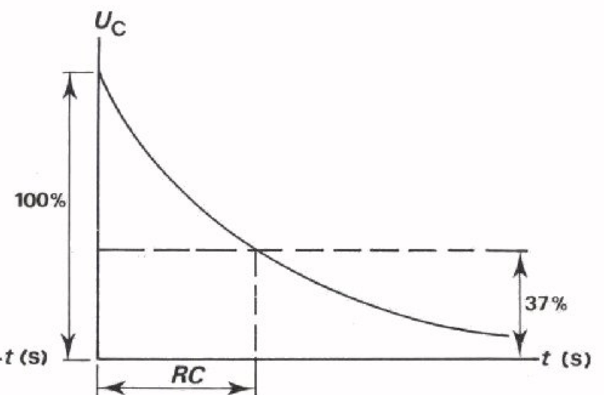


Impedantie volgt uit:

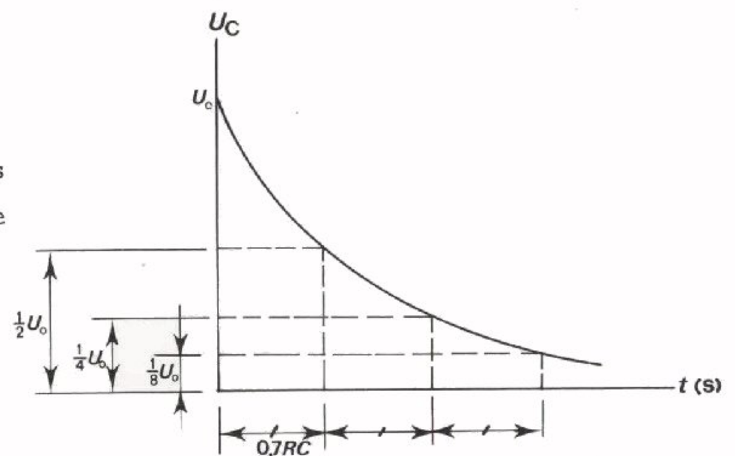
$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}$$

$$P = I_{eff} \cdot U_{eff} \cdot \cos \quad = \frac{1}{2} I_t \cdot U_t \cdot \cos\varphi$$





De C ontlaadt zich telkens in dezelfde tijd tot op de helft.



A 43 HERHALING 4B

VECTORDIAGRAMMEN

Om goed in te zien wat er met wisselspanningen en -stromen in een schakeling aan de hand is, tekent men een *vectordiagram*. Hierna volgen een aantal voorbeelden van schakelingen met hun vectordiagram. Eerst een belangrijke opmerking:

- Men begint bij een *serie*schakeling altijd met de *stroom*vector te tekenen. De stroom is immers voor alle componenten in een serieschakeling dezelfde.
- Men begint bij een *parallel*schakeling altijd met de *spannings*vector te tekenen. De spanning is immers voor alle componenten in een parallelschakeling dezelfde.

Realiseer u verder nog eens goed, dat de projectie van een vector op de projectie-as de momentele waarde voorstelt en dat de lengte van de vector de topwaarde voorstelt.

De wisselstroomweerstand $\frac{u}{i}$ van een schakeling,die alleen uit C's bestaat, wordt *reactantie* X genoemd. Bestaat de schakeling uit een combinatie van R en C, dan heet de wisselstroomweerstand *impedantie* Z.

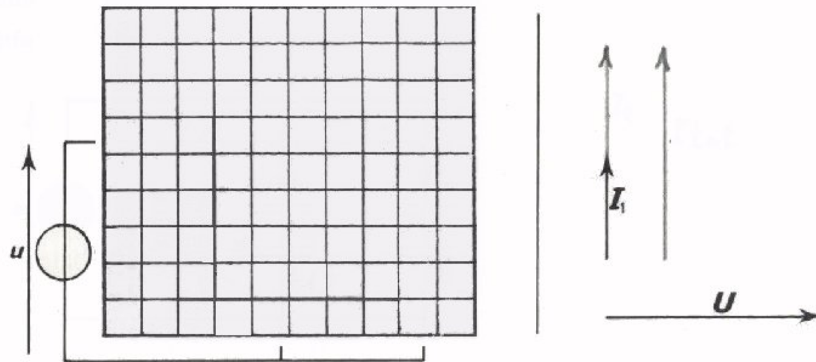
Bestudeer nu aandachtig de volgende schakelingen. U *moet* alles,wat op het volgend blad staat,geheel *snappen*. Van buiten proberen te leren is zinloos. Hebt u het niet geheel door, vraag dan uw leraar om nadere uitleg.

OVERZICHT VAN ENKELE SCHAKELINGEN

schakeling	vectordiagram	volgorde van tekenen	berekening van de wisselstroom-weerstand
i, X_2, u_2, X_1, u_1, u_{tot}	I, U_1, U_2, U_{tot}	I U_1 U_2 U_{tot}	$u_{tot} = u_1 + u_2$ $X_s . i = X_1 . i + X_2 . i$ $X_s = X_1 + X_2 = \frac{u_{tot}}{i}$
i, X, u_C, R, u_R, u_{tot}	I, U_R, U_{tot}, U_C	I U_R U_C U_{tot}	$u_{tot}^2 = u_R^2 + u_C^2$ $(Z_s . i)^2 = (R . i)^2 + (X . i)$ $Z_s^2 = R^2 + X^2$ $Z_s = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{u_{tot}}{i}$
i_{tot}, i_1, i_2, X_1, X_2, u_{tot}	I_2, I_{tot}, I_1, U	U I_1 I_2 I_{tot}	$i_{tot} = i_1 + i_2$ $\frac{u}{X_p} = \frac{u}{X_1} + \frac{u}{X_2}$ $\frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} = \frac{i_{tot}}{u}$
i_{tot}, i_R, i_C, R, X, u_{tot}	I_{tot}, I_C, I_R, U	U I_R I_C I_{tot}	$i_{tot}^2 = i_R^2 + i_X^2$ $(\frac{u}{Z_p})^2 = (\frac{u}{R})^2 + (\frac{u}{X})^2$ $(\frac{1}{Z_p})^2 = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}$ $\frac{1}{Z_p} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}} = \frac{i_{tot}}{u}$

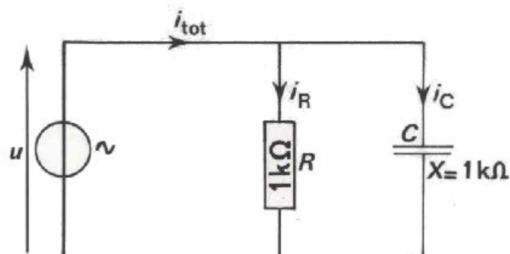
OEFENINGEN

1.



In deze schakeling zijn de beide condensatoren gelijk. Maak bovenstaand vectordiagram af.

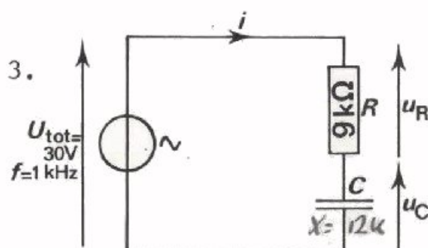
2.



In deze schakeling is de reactantie X van de condensator bij een bepaalde frequentie van de wisselspanning 1 kΩ. Bepaal voor deze schakeling de faseverschuivingshoek tussen u en i_{tot}.

φ =

3.

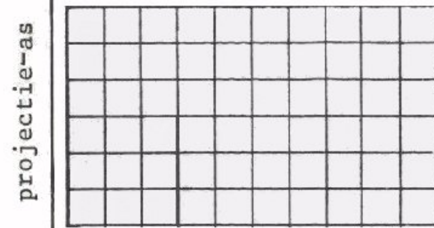


Bij 1000 Hz is de reactantie X van de condensator 12 kΩ.

- Bereken de verhouding $\frac{u_R}{u_C}$.

$\frac{u_R}{u_C} = \frac{i.R}{i.X} =$

- Teken het vectordiagram van de schakeling. Zorg dat u_R en u_C de goede verhouding hebben.



- Bereken Z.

$Z = \sqrt{\quad} =$

- Bereken I.

$i = \frac{}{} =$

- Bereken U_R en U_C

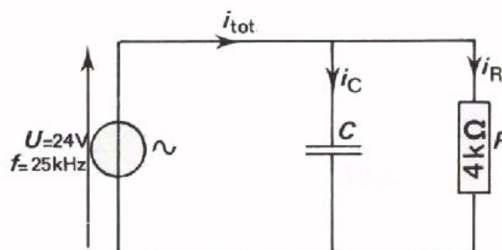
$U_R =$ =

$U_C =$ =

NOG EEN OEFENING

Hier volgt een oefening, waaraan u uzelf goed kunt testen. Probeer geheel zelfstandig de antwoorden te vinden. Als dit inderdaad vlot lukt, bent u er zeker van, dat u voldoende weet van *R*-*C*-schakelingen. Lukt het niet, ga dan na waarop u vast loopt.

Gegeven is de volgende schakeling. Bij 25 kHz is de reactantie van de condensator 3 kΩ.



Gevraagd te berekenen: I_C, I_R, I_{tot} en Z.

Bepaal bovendien door opmeting in het vectordiagram de cosinus van de hoek φ tussen u en i_{tot}. Bepaal met een tabel ook φ zelf.

Oplossing:

I_C =

I_R =

I_{tot} =

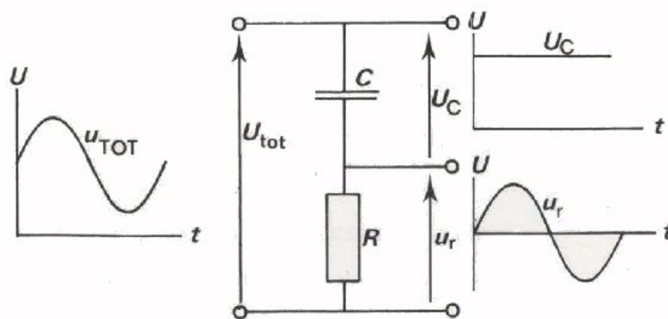
Z =

cos φ =

φ ≈

CONDENSATOR-TOEPASSINGEN

Met behulp van een *R*-*C*-combinatie kan men gelijk- en wisselspanning van elkaar scheiden.



Op deze serieschakeling van een *R* en een *C* is een pulserende gelijkspanning aangesloten.

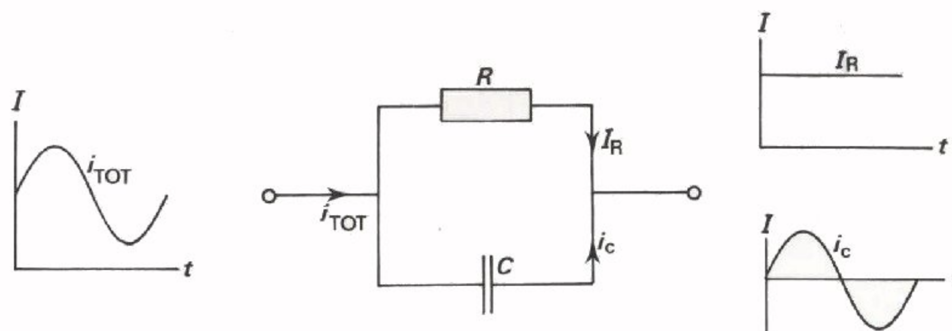
Zorgt men er voor dat:

$X << R$,

dan komt de wisselspanningscomponent vrijwel geheel over de *R* te staan. De gelijkspanningscomponent staat in zijn geheel over de *C*.

Beredeneer dit eens.

Men kan met behulp van een *R*-*C*-combinatie ook gelijk- en wisselstroom van elkaar scheiden.



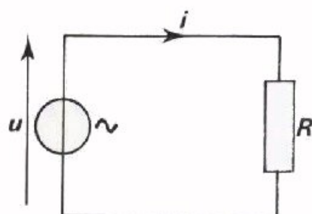
Aan deze parallelschakeling van een *R* en een *C* voert men een pulserende gelijkstroom toe.

Zorgt men er voor dat: $X << R$,

dan gaat de wisselstroomcomponent vrijwel geheel door de *C*. De gelijkstroomcomponent gaat in zijn geheel door de *R*.

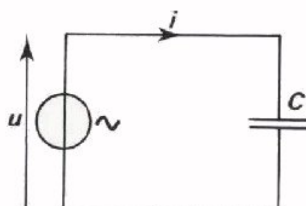
Beredeneer dit eens.

WISSELSTROOMVERMOGEN



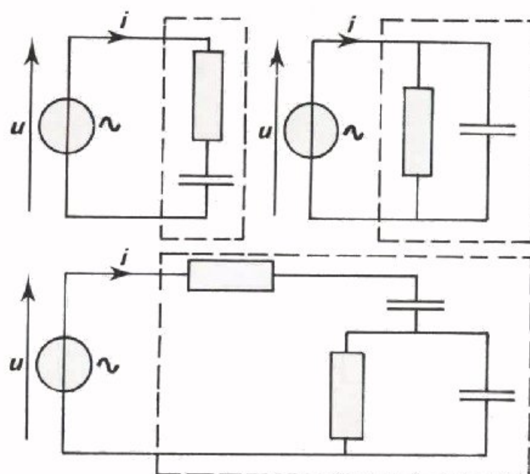
Een weerstand aangesloten op een sinusvormige wisselspanning neemt een wisselstroomvermogen op:

$$P_{R(gem)} = U_{eff} . I_{eff} = \frac{U^2_{eff}}{R} = I^2_{eff} . R$$



Een condensator neemt gemiddeld *geen* wisselstroomvermogen op, omdat de stroom en spanning 90^0 in fase verschoven zijn.

$$P_{C(gem)} = 0$$



In een combinatie van R's en C's nemen de R's *wel*, maar de C's gemiddeld *geen* vermogen op. Het wisselstroomvermogen bij zo'n gecombineerde schakeling is:

$$P_{gem} = U_{eff} . I_{eff} . \cos \varphi$$

waarin φ de hoek van faseverschuiving tussen u en i voorstelt.

Aangezien $U_{eff} = \frac{U_t}{\sqrt{2}}$ en $I_{eff} = \frac{I_t}{\sqrt{2}}$, kan men bovenstaande formules ook schrijven als:

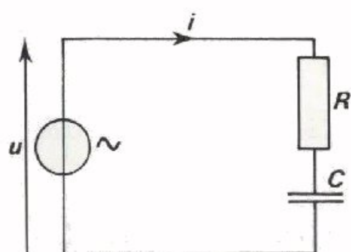
$$P_{Rgem} = \tfrac{1}{2}\, U_t . I_t$$

$$P_{Cgem} = 0$$

$$P_{gem} = \tfrac{1}{2}\, U_t . I_t . \cos \varphi$$

OEFENINGEN

1.



In deze schakeling is:

U_t = 100 V

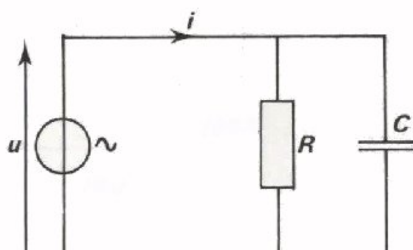
I_t = 20 mA.

Stroom en spanning zijn 45° in fase verschoven.

Het door de schakeling opgenomen vermogen bedraagt:

W

2.



In deze schakeling is:

U_{eff} = 10 V

$f = \frac{1}{2\pi}$ kHz (≈ 160 Hz)

R = 100 Ω

C = 10 μF.

Hoe groot is het opgenomen vermogen?

P = [W]

Had u P ook kunnen berekenen, als de waarde van C niet gegeven was?

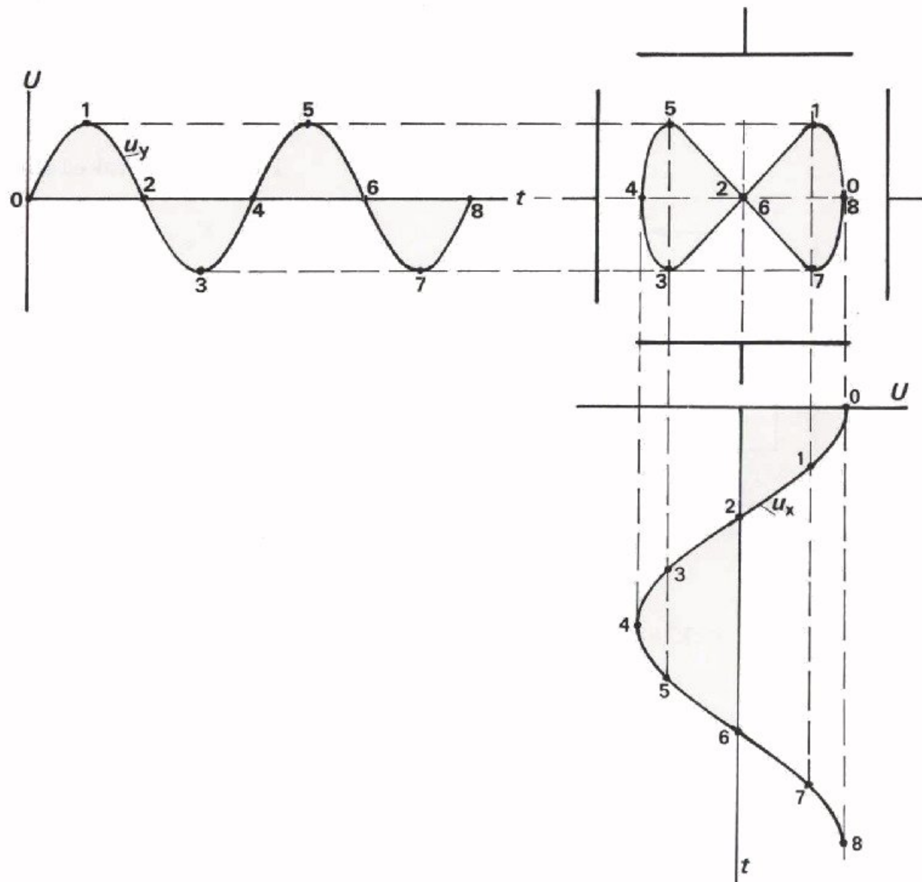
ja / nee

HET VERGELIJKEN VAN WISSELSPANNINGEN

Twee wisselspanningen vergelijkt men vaak door ze op de *X*- en de *Y*-ingang van een oscilloscoop aan te sluiten. Het beeld dat op het scherm zal verschijnen, kan men als volgt construeren:

- Teken *naast* de afbuigplaten de grafiek van de spanning u_y, dus met de tijdas horizontaal.
- Teken *onder* de afbuigplaten de grafiek van de spanning u_x, dus met de tijdas verticaal.
- Haal daarna overeenkomstige punten uit de beide grafieken over en verbind deze door een vloeiende lijn.

In onderstaand voorbeeld is dit gedaan. Bestudeer dit voorbeeld nog eens goed.



Voert men twee sinusvormige spanningen met *dezelfde frequentie* toe, dan kan men aan de figuur op het scherm iets zien over de *fase* van deze spanningen.



u_x en u_y zijn in fase; $\varphi = 0$



φ ligt tussen 0 en 90^0



$\varphi = 90^0$

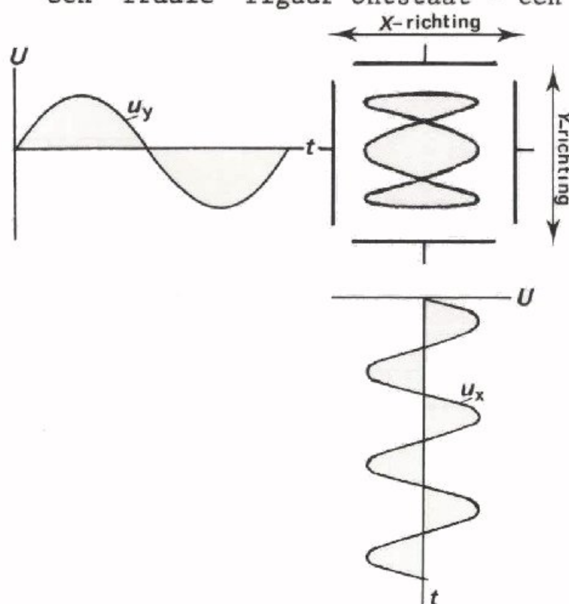


φ ligt tussen 90^0 en 180^0



$\varphi = 180^0$; u_x en u_y zijn in *tegenfase*.

Voert men twee sinusvormige wisselspanningen met *verschillende frequenties* toe, dan is uit de figuur de frequentieverhouding af te leiden. Dit is alleen mogelijk bij eenvoudige frequentieverhoudingen, als er een "fraaie" figuur ontstaat - een z.g. figuur van *Lissajous*.



Dan geldt:

$f_x : f_y =$

aantal toppen in X-richting staat tot aantal toppen in Y-richting.

In nevenstaand voorbeeld:

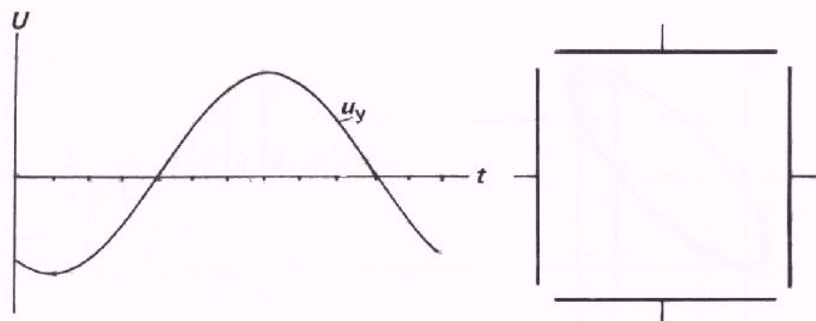
$f_x : f_y = 3 : 1.$

TEST UZELF

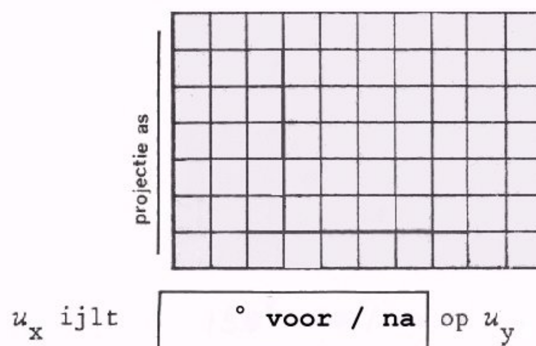
1. Hieronder zijn enige figuren van Lissajous gegeven. Bepaal telkens de frequentieverhouding.

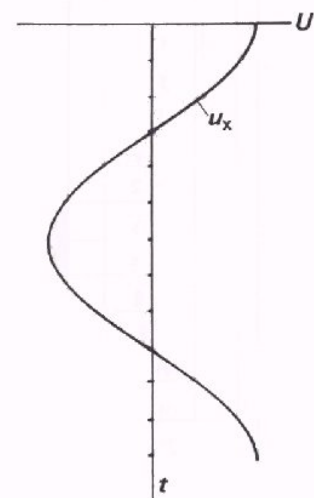
	$f_x : f_y$ =

2. Construeer de figuur, die op het scherm van een oscilloscoop ontstaat.



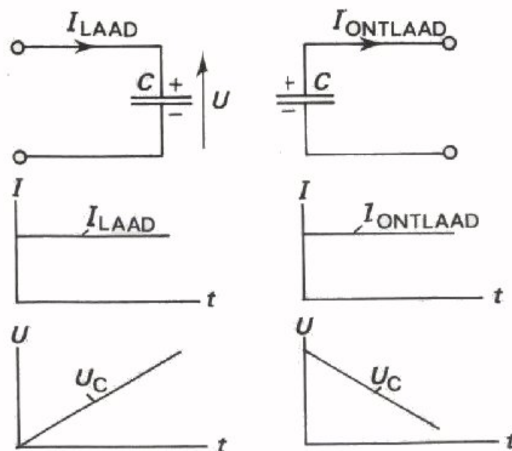
Teken hieronder het vectordiagram op het tijdstip t = 0.





u_x ijlt | ° **voor / na** | op u_y

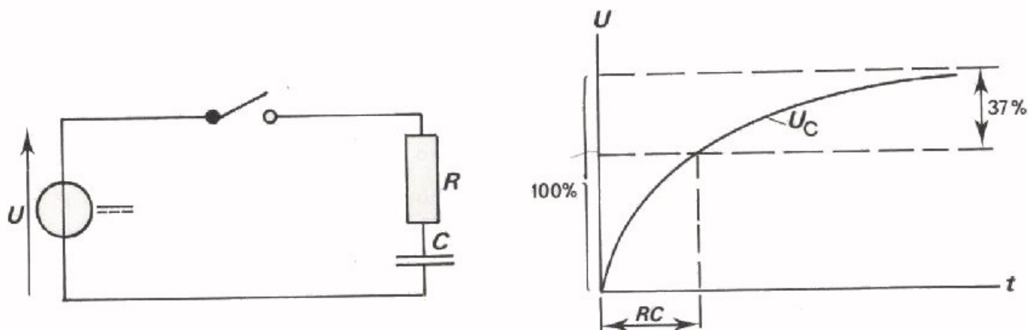
LADEN EN ONTLADEN



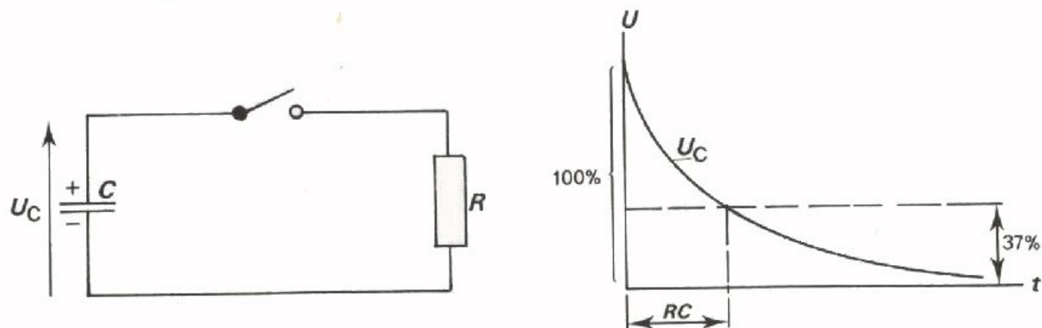
Laadt of ontlaadt men een condensator met *gelijkstroom*, dan neemt de condensatorspanning *lineair* toe of af. Per seconde met

$$U_C = \frac{Q_1}{C} = \frac{I}{C}$$

Q_1 is lading per seconde.



Bij het laden van een condensator via een weerstand verloopt de spanning op de condensator als in bovenstaande grafiek. In $R.C$ seconden neemt de spanning U_C toe tot (100 - 37)% van de eindwaarde.



Bij het ontladen van een condensator via een weerstand verloopt de spanning op de condensator als in bovenstaande grafiek. In $R.C$ seconden neemt de spanning U_C af tot 37% van de beginwaarde.

Drukt men R in Ω en C in F uit dan stelt het product $R.C$ een aantal seconden voor.

TEST UZELF

1. Een condensator is geladen tot een spanning van 200 V. De condensator heeft een waarde $C = 0{,}1\ \mu F$. Hij wordt ontladen via een weerstand van 100 kΩ. Hoe groot is de $R.C$-tijd?

   RC = [ ]

   Hoe groot is de spanning op de condensator 0,03 s nadat de ontlading begon?

   U_C = [ ]

2. Een condensator van 0,1 µF wordt geladen via een weerstand van 10 MΩ. Het laden geschiedt vanuit een batterij van 100 V. Na 2 s is de spanning op de condensator ongeveer:

37 V	O
50 V	O
63 V	O
86 V	O

3. Men voert onderstaande stroom aan een C van 100 nF toe. Bereken en teken de spanning,die over de C ontstaat.

